



Trabajo para la obtención del Título de Graduado en
Ciencias de la Actividad Física y Deporte

APROXIMACIÓN AL DISEÑO DE UN CUANTIFICADOR DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Autor:

Francisco Torres Fernández.

Departamento de Salud Y Rendimiento Humano de la Facultad de Ciencias de la Actividad
Física y del Deporte de Madrid (INEF)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Curso 2013/2014



Trabajo para la obtención del Título de Graduado en
Ciencias de la Actividad Física y Deporte

APROXIMACIÓN AL DISEÑO DE UN CUANTIFICADOR DE ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Autor:

Francisco Torres Fernández.

Tutor:

D. Enrique Navarro Cabello (Doctor en Ciencias de la Actividad Física)

Departamento de Salud Y Rendimiento Humano de la Facultad de Ciencias de la Actividad
Física y del Deporte de Madrid (INEF)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Curso 2013/2014

Agradecimientos

Gracias,

Al Laboratorio de Biomecánica del INEF y su equipo. A Enrique Navarro por considerar y aceptar mi propuesta para realizar este trabajo y por el interés y tiempo que le ha dedicado.

A Carlos y Kadir por su ayuda a la hora de hacer los estudios y resolver mis dudas.

A la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte de Madrid, por tener profesores que inspiran y te enseñan a no conformarte, a ser mejor y a querer lo que haces porque ellos lo aman igual.

A mis padres, por haberme apoyado al llegar aquí, por recordarme que tengo un camino delante y que hay obstáculos y paradas en el camino, pero que hay que seguir caminando.

A mis compañeros de INEF, especialmente a Sergio, Dewy y Pupete, por ser una familia más, por haber estado ahí, algunos desde el principio y otros apareciendo sin avisar. No habría llegado tan lejos sin vosotros.

Índice

1. Introducción.....	1
2. Marco teórico	2
2.1. ¿Qué vamos a medir?	2
2.1.1. Volumen.....	2
2.1.2. Intensidad	3
2.2. ¿Por qué cuantificar el entrenamiento de fuerza?	6
2.2.1. La 1RM, ¿obsoleta?.....	7
2.2.2. Velocidad de ejecución y 1RM.....	8
2.2.3. Entrenamiento de más calidad, más sencillo y para todos.....	9
3. Objetivo.....	10
4. Metodología.....	10
4.1. Sistemas de captura de datos.....	11
4.1.1. Acelerómetro Trigno™ Wireless System.....	11
4.1.1. Sistema Vicon® de captura de movimiento.....	12
4.2. Protocolo experimental.....	13
4.2.1. Colocación de los marcadores.....	13
4.1. Diseño experimental.....	15
4.1.1. Elección de ejercicios.....	16
4.2. Protocolo.....	20
4.2.1. Protocolo de calentamiento.....	21
4.3. Procesamiento de datos.....	21
4.4. Calendario.....	25
5. Resultados y discusión.....	25
6. Conclusiones.....	34
Bibliografía.....	37

Anexos.....	41
-------------	----

Índice de tablas

Tabla 1 Material a utilizar	20
Tabla 2 Protocolo para desarrollar la prueba	21
Tabla 3 Calendario en el que se ha desarrollado el trabajo	25
Tabla 4 Comparativa de velocidad y espacio recorridos en curl de biceps y peso muerto 1 ...	29
Tabla 5 Comparativa de velocidad y espacio recorridos en curl de biceps y peso muerto 2 ...	30
Tabla 6 Comparativa de velocidad y espacio recorridos en remo horizontal y press militar 1	31
Tabla 7 Comparativa de velocidad y espacio recorridos en remo horizontal y press militar 2	32
Tabla 8 Comparativa de velocidad y espacio recorridos en sentadilla, press de banca y press francés 1	33
Tabla 9 Comparativa de velocidad y espacio recorridos en sentadilla, press de banca y press francés 2	34
Ilustración 1 Escala de Borg de 10 unidades, modificada de Baechle Y Earle.....	5
Ilustración 2 Relación velocidad de ejecución y %1RM, diferencias tras 6 semanas de entrenamiento	9
Ilustración 3 Imagen del acelerómetro triaxial Trigno™ Wireless System	11
Ilustración 4 Maletin-cargador de los acelerómetros Trigno™ Wireless System	12
Ilustración 5 Cámara del sistema de captura de movimiento Vicon®	13
Ilustración 6 Marcaje de los puntos donde se situarán los marcadores.....	13
Ilustración 7 Marcadores colocados	14
Ilustración 8 Fijación del acelerómetro y el marcador a la barra olímpica	15
Ilustración 9 Barra olímpica con el acelerómetro y el marcador puestos	15
Ilustración 10 Curl de biceps alterno con supinación	16
Ilustración 11 Peso muerto	17
Ilustración 12 Remo horizontal con barra	18
Ilustración 13 Sentadilla.....	18
Ilustración 14 Press Militar	18
Ilustración 15 Press de banca	19
Ilustración 16 Press francés con barra EZ	19
Ilustración 17 Figura del sujeto en el programa Workstation solo con los marcadores.....	22
Ilustración 18 Figura del sujeto en Workstation una vez hecho el labeling.....	23
Ilustración 19 Análisis del movimiento en Polygon Viewer.....	23
Ilustración 20 Datos del movimiento en sentadilla en excel	24

Ilustración 21 Gráficas representativas de los parámetros de movimiento en sentadilla.....	24
Figura 1 Aceleración del press de banca en Vicon	26
Figura 2 Aceleración del press de banca en acelerómetro	26
Figura 3 Comparación de aceleración del press de banca.....	27
Figura 4 Aceleración dela sentadilla en Vicon.....	27
Figura 5 Aceleración dela sentadilla en Vicon.....	28
Figura 6 Comparación de aceleración dela sentadilla.....	28

Resumen

En el ámbito de la actividad física, cada vez es más común el uso de gadgets para cuantificar el entrenamiento que realizamos. De esta manera, el usuario dispone de datos de distancia, velocidad, calorías quemadas... lo que le supone un mayor conocimiento sobre la calidad del entrenamiento que ha realizado. Pero si nos fijamos en el mercado de este tipo de gadgets solo miden entrenamiento cardiovascular sin haber aún ninguno que cuantifique un entrenamiento de fuerza, el cual sería de gran utilidad debido a la cantidad de beneficios y resultados distintos que se pueden obtener según se modifiquen de una manera u otra las cargas de entrenamiento.

Para este trabajo hemos realizado un estudio sobre la eficacia que presentan los acelerómetros a la hora de cuantificar los movimientos que se realizan en entrenamientos de fuerza con pesos libres. Para ello comparamos los datos obtenidos por el acelerómetro y el sistema de VICON de captura de movimiento para comprobar el margen de errores existente y hasta qué punto podría ser factible diseñar un gadget que mida el entrenamiento de fuerza basado en el uso de acelerómetros.

Abstract

In the field of physical activity, it is more common to see the use of gadgets to quantify our training. In this way, the user has information of distance, speed, energy expenditure... which means more knowledge about the training that has been done. But if we take a look at the market, this kind of gadgets only measure endurance training without existing anyone which measures resistance training, which would be useful because of the amount of different benefits and results that can provide depending on how we modify the characteristics of our training.

For this project, we have made a study about the effectiveness of accelerometers at the moment of quantifying the movements realized during a resistance training with free weights. In order to do that, we compared the information acquired from the accelerometers and VICON motion capture system so we could check the margin of error and if it would be viable to design an accelerometer based gadget for measuring resistance training.

1. Introducción.

Hoy en día mucha gente, y cada vez más, entrena por cuenta propia. La proliferación de webs y blogs sobre entrenamiento y la facilidad para acceder a ellos, junto a las nuevas tecnologías que integran aplicaciones o *apps* para móvil como *Runtastic*, *Endomondo*, *Runkeeper*, *Nike+*, *adidas miCoach*... y los últimos gadgets diseñados como las *Nike+FuelBand*, *Fitbit Flez*, *Jawbone Up*... para medir el gasto calórico diario en función del movimiento, hacen más sencillo que cada individuo busque “planificar” su entrenamiento cada vez con más eficacia, aunque no totalmente precisa. Pero esto puede observarse especialmente en referente al trabajo cardiovascular, lo cual no es tan sencillo para el trabajo de fuerza.

El entrenamiento con pesas es una modalidad de ejercicio que ha ido ganando popularidad por su capacidad en mejorar el rendimiento aumentando la fuerza muscular, la potencia y la velocidad, la hipertrofia, la resistencia muscular, el equilibrio y la coordinación (27). Aunque al leer esta descripción puede parecer que el trabajo de fuerza solo busque un rendimiento deportivo o una mejora estética (por la hipertrofia), disponer de una masa muscular fuerte que nos permita movernos con equilibrio y coordinación son imprescindibles para mantenernos sanos, por ello la ACSM recomienda el entrenamiento de fuerza para mantener un óptimo estado de salud (25,27,33).

Actualmente, la manera más sencilla de cuantificar y programar un entrenamiento de fuerza para mucha gente fuera del ámbito del deporte profesional, que entrena con un objetivo de salud y de ocio, pero que desea hacer un entrenamiento eficiente, se basa en una planificación que, para que sea lo más “precisa” posible para ellos, comienza con la toma de la repetición máxima o 1RM de diferentes ejercicios. A partir de ese momento se diseñaran rutinas de entrenamiento en el que la intensidad y el volumen viene determinada por series, repeticiones y porcentajes de la 1RM determinados según el objetivo que se busca (16). Conocer de manera rápida, precisa y sencilla los componentes de un entrenamiento de fuerza como el tonelaje total y por grupo muscular que has movido, los tiempos de descanso totales y relativos, el tiempo de sesión y el tiempo de entrenamiento, nos permitirá conocer con mayor exactitud la calidad de nuestro entrenamiento y nos otorgará más herramientas para poder planificar las siguientes sesiones (2), pero llevar un seguimiento de todos esos datos es algo que muy poca gente, por no decir nadie, hace.

De esta manera, el desarrollo de un dispositivo capaz de facilitar la toma de tantos datos, evitándonos tener que estar tomando de manera manual, haciendo del entrenamiento una actividad tediosa y aburrida (9) (que para algunas personas ya puede serlo de por sí) y ayudarnos a los encargados de prescribir rutinas de entrenamiento a hacer sesiones mucho más eficaces (7), ya sea para un objetivo de rendimiento deportivo, salud o estético.

2. Marco teórico

2.1. ¿Qué vamos a medir?

Los diferentes componentes de la carga en el entrenamiento de fuerza que distingue y que buscaremos cuantificar mediante acelerometría son el volumen y la intensidad del entrenamiento. Aunque pueda parecer

2.1.1. Volumen

El volumen puede medirse de varias maneras. González-Badillo y Ribas sostienen que el volumen viene expresado por el número de repeticiones realizadas afectado a su vez por el número de ejercicios, series por sesión, repeticiones por serie y la frecuencia de los entrenamientos (16). Otro factor que determina el volumen que se puede realizar en una sesión es el tiempo en el que se realiza el ejercicio, aunque este puede ser también un factor también determinante de la intensidad, ya que no supone el mismo trabajo realizar un ejercicio a velocidades distintas aunque se maneje el mismo peso. A su vez, el tiempo vendrá determinado por la velocidad y el espacio, pues ya sabemos que $v=e/t$ y por lo tanto $t=e/v$, por lo que analizaremos también el grado de eficacia a la hora de medir el espacio recorrido y la velocidad.

Si lo que nosotros queremos es cuantificar lo máximo posible el volumen de entrenamiento para hacer entrenamientos efectivos, podemos diferenciar el volumen de entrenamiento de muchas maneras más (2):

- **Volumen absoluto por grupo (Vol abs Gr.):** Total de kilogramos levantados para un grupo muscular completo. Se calcula multiplicando el peso de cada repetición por el número de repeticiones de una serie y sumando el resultado de todas las series de un grupo muscular.

- **Peso Medio (P.M.):** Variable propuesta por Badillo y Ribas (16), se calcula dividiendo el Vol. Abs entre las repeticiones totales. Su unidad es el kg y puede calcularse para cada ejercicio, para un grupo, sesión, microciclo o cualquier periodo de tiempo.
- **Tiempo Total del Grupo (Tt Gr):** Tiempo empleado en realizar el entrenamiento de un grupo muscular completo incluyendo los tiempos de descanso.
- **Tiempo Total (Tt):** Tiempo empleado en realizar el entrenamiento de un grupo muscular completo incluyendo los tiempos de descanso.
- **Tiempo efectivo de entrenamiento (Te):** Tiempo empleado en el entrenamiento completo pero eliminando el calentamiento, enfriamiento y el tiempo empleado en descansos entre series y grupos.
- **Series por Grupo (S Gr):** Número de series realizadas en una sesión completa de entrenamiento delimitadas por el grupo muscular concreto que hemos trabajado.
- **Series (S):** Número de series totales realizadas en una sesión.
- **Repeticiones por grupos (Rep Gr):** Número total de repeticiones que se ha realizado en el trabajo de un grupo muscular.
- **Repeticiones:** Número de repeticiones totales de una sesión de entrenamiento completa.
- Lo que trataremos de comprobar es de si el acelerómetro es capaz de distinguir las diferentes repeticiones realizadas de acuerdo al ciclo de movimiento que se produce a lo largo de la serie.

2.1.2.Intensidad

González Badillo y Ribas (16) definen la intensidad en el entrenamiento como “el grado de esfuerzo desarrollado al realizar un ejercicio o actividad de entrenamiento en cada unidad de acción”. Benito Peinado cita de nuevo a estos autores también junto a González Badillo y Gorostiaga (15) para aproximarse más a un concepto de intensidad que se asemeja más a nuestros intereses tratando la intensidad y el carácter del esfuerzo como “...la relación entre el grado de exigencia (de una actividad) y las posibilidades actuales/reales del sujeto en un momento determinado...” siendo este uno de los motivos que nos lleva a hacer este trabajo, valorar el entrenamiento real de un sujeto en un momento determinado, siendo este momento cada sesión de entrenamiento, ya que la situación y las posibilidades reales de cada sujeto variarán de un momento a otro.

Si en este momento les preguntásemos a muchos entrenadores que realizasen entrenamientos de fuerza específicos con material de musculación que parámetro usan para cuantificar y elegir la intensidad de los ejercicios de entrenamiento, la respuesta de muchos sería la 1RM o repetición máxima. Lo que ocurre es que muchos desconocen las posibilidades (y las mejoras en rendimiento) que ofrece utilizar la velocidad de ejecución para valorar la calidad del entrenamiento. (24,38).

Benito Peinado nos presenta otro componente importante de la intensidad, la densidad (2), entendida como “número de veces que se realiza una acción en la unidad de tiempo, es decir, frecuencia. No debemos de confundirla con la velocidad de ejecución, ya que si bien la densidad en una serie es igual a la velocidad de ejecución, cuando nos referimos a 1 entrenamiento se puede hablar de series completadas en todo el entrenamiento, o incluso en diferentes microciclos. El efecto que produce la recuperación entre series y las pausas entre grupos, es determinante sobre los efectos producidos por un entrenamiento, incluso con pesos idénticos y velocidades similares”

Para González-Badillo y Ribas la intensidad puede cuantificarse mediante la 1RM, la velocidad de ejecución (en cm/s o rep/s) y como potencia de ejecución (w) (16). Mientras que Benito Peinado nos ofrece más opciones (2):

- **Intensidad subjetiva:** o carácter del esfuerzo contrastado en una escala de 10 unidades (Börg). El sujeto que está entrenado indica en cada serie su percepción de la intensidad de acuerdo a una escala como la que mostramos a continuación. Pero teniendo en cuenta que no queremos guiarnos por intuiciones o percepciones, si no realizar un entrenamiento lo más matemáticamente correcto descartaríamos esta opción.

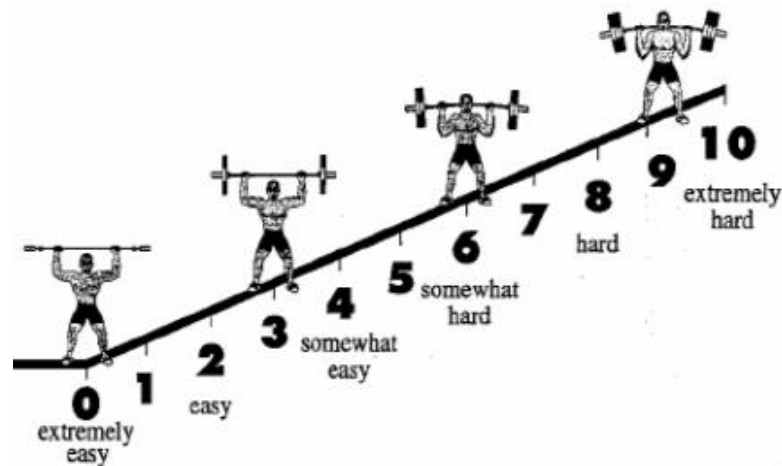


Ilustración 1 Escala de Borg de 10 unidades, modificada de Baechle Y Earle (1)

- **Intensidad con respecto a 1RM del grupo:** Esta opción sugiere que realizando un test de 1RM en un ejercicio global como podría ser por ejemplo el press de banca para el trabajo de pecho, podríamos basarnos en los datos obtenidos de ese test para calcular los porcentajes de intensidad de entrenamiento del resto de ejercicios grupales de pecho. Esta práctica lleva años realizándose en los lugares de entrenamiento y desde mi punto de vista puede ser “aceptable” si no tenemos otra opción.
- **Intensidad media relativa:** Consiste en dividir el peso medio de un ejercicio entre la 1RM del mismo para saber que porcentaje representa con respecto al máximo.
- **Volumen relativo del grupo al tiempo total de entrenamiento (densidad relativa de un grupo):** Total de kilogramos levantados en una sesión para un grupo muscular determinado, dividido entre el tiempo total de entrenamiento.
- **Volumen relativo al tiempo total de entrenamiento (densidad total por sesión):** El volumen de toda la sesión en kilogramos levantados, dividido entre el tiempo total de entrenamiento.
- **Volumen relativo del grupo al tiempo real de entrenamiento (densidad real del grupo):** Tiempo dedicado a la realización de los ejercicios. Esta variable mide la

relación entre los kilogramos levantados en un grupo con respecto al tiempo real de entrenamiento.

- **Volumen relativo al tiempo real de entrenamiento (densidad real de la sesión):** Dividimos el volumen total de la sesión entre el tiempo real.
- **Volumen relativo del grupo al tiempo efectivo del entrenamiento (densidad efectiva del grupo):** El tiempo efectivo de entrenamiento da una imagen más real de la velocidad de ejecución de los ejercicios y por tanto deja constancia más clara del carácter del esfuerzo que se emplea con unos determinados grupos.
- **Volumen relativo al tiempo efectivo de entrenamiento (densidad efectiva de la sesión):** Se describe como el volumen total en kilogramos de una sesión entre el tiempo efectivo de entrenamiento.

2.2. ¿Por qué cuantificar el entrenamiento de fuerza?

Dentro de nuestro campo, que es el deporte, todos sabemos que las cualidades físicas tienen unos parámetros establecidos de entrenamiento si queremos mejorarlas. En el ámbito cardiovascular debemos entrenar en función de la frecuencia cardíaca de reserva (FCR) y dentro de un rango de pulsaciones por minuto en función de que capacidad cardiovascular queramos mejorar y unos tiempos de trabajo y descanso (30). Para la flexibilidad podemos realizar ejercicios de estiramientos estáticos o dinámicos, según queramos resultados de flexibilidad prolongados en el tiempo o resultados rápidos... Y para la fuerza tenemos la 1RM y sus porcentajes, las series, las repeticiones, tiempos de descanso y métodos (pirámides, Bulke, Oxford...) (2). Pero, teniendo en nuestras manos tantas variables, tantos métodos y tantas opciones... ¿realmente entrenamos correctamente?

No son tantas las personas capaces de realizar un entrenamiento casi perfecto, capaces de desarrollar todo el potencial que buscan (sea deportivo, estético o de salud). Mucha gente entrena por su cuenta, lo que por lo general lleva a realizar entrenamientos ineficaces. Otros realizan rutinas de entrenamiento creadas por sus entrenadores de sala o entrenadores personales, más precisas y eficaces que si se entrenan por su cuenta pero que cubren periodos de entrenamiento demasiado largos para realizar un entrenamiento lo más perfecto posible cada día. Cuántas veces hemos oído (o respondido en el caso de que seamos entrenadores) a la pregunta “¿cuánto peso me pongo?” “el suficiente para hacer x repeticiones, pero que te permitiese hacer 1-2 más”. A esto se le denomina entrenamiento por intuición y no es precisamente la manera más correcta de entrenar (7,37). Sí, es eficaz, de hecho es como se ha

entrenado así hasta ahora durante años pero generalmente nos falta información para desarrollar un entrenamiento perfecto, pues en objetivos a medio plazo se ha visto que la mayor parte de las veces lo que conseguimos es alejarnos de los resultados que queremos (7). Por lo tanto el método más adecuado, y por eso están clasificados los métodos de entrenamiento según diferentes intensidades y objetivos, es utilizar los porcentajes de la 1RM, pero... ¿es hacer test de 1RM el método más eficaz para conocer nuestra repetición máxima en un ejercicio?

2.2.1. El test de 1RM, ¿obsoleto?

Para todos es conocido que el entrenamiento de fuerza se regula mediante los porcentajes relativos a la 1RM, dentro de los cuales existen ciertos rangos en los que entrenaremos un tipo de fuerza u otra, a saber:

- Fuerza máxima.
- Hipertrofia.
- Fuerza resistencia
- Fuerza explosiva.

Es decir, si nosotros fuésemos a preparar un entrenamiento de fuerza, lo más conveniente (que no lo más adecuado y aplicable a todos los que vayan a realizar un entrenamiento de fuerza) es realizar previamente un test de 1RM para conocer cuál es la máxima cantidad de kilogramos que el sujeto es capaz de mover en una repetición para a partir de aquí diseñar un programa de ejercicios con los porcentajes adecuados a los objetivos que se quieren conseguir. Esto presenta varios problemas (7):

- 1) La prueba de 1RM es imprecisa. Es una prueba que requiere una total implicación por parte del sujeto y eso no es algo que podamos garantizar cuando se hace la prueba. Muchos factores pueden condicionar física, psicológica y fisiológicamente a una persona a la hora de hacer un entrenamiento de fuerza, por lo que un test que se realiza como pilar básico de este tipo de entrenamiento y que lo condicionara en todos sus aspectos debería ser lo más fiable posible.
- 2) El valor de la 1RM varía con el tiempo. Ya sea mediante el entrenamiento de fuerza máxima o de hipertrofia, los valores de 1RM van a cambiar, por consiguiente los valores porcentuales de la 1RM establecidos para cada ejercicio también lo harán, lo que puede provocar que no se trabaje a la intensidad adecuada y por lo tanto no se

alcancen los objetivos deseados. La solución más sencilla sería realizar tests de 1RM con más frecuencia, lo que supone perder tiempo de entrenamiento y exponerse a un riesgo de lesión con demasiada asiduidad como veremos en el siguiente punto.

- 3) El test de 1RM es un protocolo exigente. Debemos recordar que estamos de hablar el máximo peso posible en una repetición, esto significa llevar al cuerpo al límite del esfuerzo, tanto muscular como en algunos casos articular y que puede provocar una lesión. Para ello es necesario hacer un calentamiento meticuloso y específico para reducir lo máximo posible el riesgo de lesión, lo que lleva bastante tiempo. Si vamos a realizar test de 1RM supone una pérdida de tiempo de entrenamiento demasiado grande.
- 4) Cada ejercicio tiene su propio 1RM. Los ejercicios del entrenamiento de fuerza se pueden dividir en dos clases según los grupos musculares que participan: específicos, si trabaja solo un grupo muscular y globales, si participan dos grupos musculares o más. Teniendo en cuenta que en los ejercicios globales, dependiendo del ejercicio, del tipo de carga, movimiento, posición del cuerpo... algunos músculos trabajarán más que otros, por lo que sería incorrecto pensar que habrá un mismo reclutamiento muscular en un press de banca plano que en un press de banca inclinado. Por lo tanto cada ejercicio debería ser valorado mediante 1RM por separado para hacer un entrenamiento lo más efectivo posible, con la pérdida de tiempo que supondría tener que realizar un test para cada ejercicio

2.2.2.Velocidad de ejecución y 1RM.

Se ha podido comprobar que la velocidad es el mejor indicador de intensidad a la hora de realizar entrenamientos de fuerza (17), incluso se ha demostrado como cada porcentaje de la 1RM tiene un valor de velocidad media propulsiva asociado (VMP), como podemos ver en el caso de la siguiente ilustración que pertenece al press de banca. Es decir, que si supiésemos la velocidad con la que realizamos nuestra primera repetición con determinado peso a la máxima velocidad podríamos conocer con exactitud casi perfecta cual es el porcentaje de la 1RM que estamos trabajando, siendo esto válido para cualquier ejercicio y para cualquier situación, lo que derivaría en una mejora de la calidad del entrenamiento altísima, ya que nos evitaría todas las molestas que supone hacer test de 1RM y podríamos tener porcentajes de la 1RM para todos los ejercicios que realizásemos. Usar la velocidad de ejecución nos permitirá tener un mayor control de la carga, incluso diariamente y programar los ejercicios para todos los sujetos (niños, adultos, elite deportiva...), ya que no habría más que pedirles que ejecutasen

una repetición del ejercicio a su máxima velocidad posible (sea mayor o menor), y desarrollar el entrenamiento de acuerdo a los datos obtenidos.

Load (%1RM)	T1	T2	Difference (T1-T2)
30 %	1.33±0.08	1.33±0.08	0.00
35 %	1.24±0.07	1.23±0.07	0.01
40 %	1.15±0.06	1.14±0.06	0.01
45 %	1.06±0.05	1.05±0.05	0.01
50 %	0.97±0.05	0.96±0.05	0.01
55 %	0.89±0.05	0.87±0.05	0.01*
60 %	0.80±0.05	0.79±0.05	0.01
65 %	0.72±0.05	0.71±0.05	0.01
70 %	0.64±0.05	0.63±0.05	0.01
75 %	0.56±0.04	0.55±0.04	0.01
80 %	0.48±0.04	0.47±0.04	0.01
85 %	0.41±0.04	0.40±0.04	0.01
90 %	0.33±0.04	0.32±0.04	0.01
95 %	0.26±0.03	0.25±0.03	0.01
100 %	0.19±0.04	0.18±0.04	0.00*

Ilustración 2 Relación velocidad de ejecución y %1RM, diferencias tras 6 semanas de entrenamiento (18)

Además tener un control con la velocidad de ejecución nos permitirá mejorar nuestro entrenamiento en el mismo instante en el que estamos entrenando. A medida que realizamos nuestro ejercicio el grado de fatiga va aumentando por lo que saber a que velocidad estamos trabajando en cada repetición nos ayudará a conocer si hay que cambiar la carga, detener el entrenamiento, ajustar el número de repeticiones a realizar... (8,17,37) Ya que la posibilidad de sobrentrenar o llegar al fallo muscular se ha visto que es perjudicial para el rendimiento deportivo salvo para objetivos de hipertrofia (y aun así no debería de llegarse al fallo siempre) (7,17,21).

2.2.3. Entrenamiento de más calidad, más sencillo y para todos.

Poder cuantificar y de esta manera conocer con mayor exactitud los parámetros del entrenamiento que estamos realizando nos ayudará a alcanzar con más facilidad nuestros objetivos y lo harán más alcanzables para todo tipo de sujetos independientemente de su objetivo:

- Conocer el porcentaje de 1RM que estamos utilizando nos permitirá hacer los entrenamientos dentro de los rangos correctos del entrenamiento de fuerza para alcanzar las mejoras que deseamos, sea un porcentaje bajo o elevado respecto del 100%.

- Tener un control constante sobre la velocidad de ejecución nos permitirá conocer si estamos trabajando a la velocidad adecuada, si debemos trabajar con más intensidad o menos debido a la fatiga, evitando así exceso de fatiga, sobrentrenamiento y riesgo de lesiones, modificando el entrenamiento a tiempo real y preparando las siguientes con mayor efectividad (9,11,29)
- Llevar un control monitorizado de las actividades diarias ayuda a mejorar los hábitos de vida saludables y proporciona ayuda a personas mayores (3,29).
- Perderse al contar las repeticiones, series, apuntarlo todo a mano... puede ser tedioso y volverse una rutina aburrida, de esta manera sería de una forma más fácil y casi automática (9,29).

3. Objetivo.

El fin de este trabajo es hacer una aproximación a la manera de cuantificar el entrenamiento de fuerza de la forma más cómoda y eficaz posible. Para ello, buscamos apoyarnos en las nuevas tecnologías que tan buenos resultados están dando en la medición de otros deportes y características de la actividad física.

Actualmente la forma más sencilla sería el uso de acelerómetros. Pueden llegar a ser muy pequeños, fáciles de transportar y de implementar en otros aparatos y ya se han utilizado en algunos estudios para analizar parámetros en ejercicios de entrenamiento de fuerza. Pero si lo que buscamos es cuantificar y recoger la información de una sesión de entrenamiento completa, necesitaremos más datos que un único parámetro de entrenamiento. Para comprobar la eficacia de estos acelerómetros a la hora de recoger y diferenciar datos, vamos a compararlo con un sistema de captura de imagen, ya que son mucho más eficaces a la hora de proporcionar datos de movimiento, pero que no sería práctico a la hora de cuantificar los entrenamientos.

4. Metodología.

Este trabajo se ha diseñado para verificar la precisión de un acelerómetro (en este caso un acelerómetro TrignoTM Wireless System) comparándolo con un procedimiento con mayor precisión como es el sistema de captura de imágenes (en este caso el sistema Vicon® Motion Systems) para posteriormente desarrollar una aplicación capaz de cuantificar los datos de una sesión de entrenamiento de fuerza. Los datos se obtendrán de la realización de cada uno de los

ejercicios elegidos, llevados a cabo por el mismo sujeto y con diferentes cargas para comprobar la diferencia de datos en cuanto a velocidad y posición proporcionada por ambos sistemas.

4.1. Sistemas de captura de datos.

4.1.1. Acelerómetro Trigno™ Wireless System.

Los acelerómetros son instrumentos destinados a medir aceleraciones y por lo tanto, el movimiento. hasta en tres planos (vertical, mediolateral y anteroposterior). Estos acelerómetros, denominados acelerómetros triaxiales, consisten de tres acelerómetros ortogonales que proveen información de cada plano (10,36). En nuestro caso nos interesa este tipo de acelerómetro capaz de medir en los tres planos para detectar variaciones y desequilibrios en los movimientos consiguiendo medir las repeticiones con mayor precisión.. La acelerometría es una medida objetiva y mide el movimiento de forma directa, lo que lo hace el elemento ideal para nuestros propósitos.

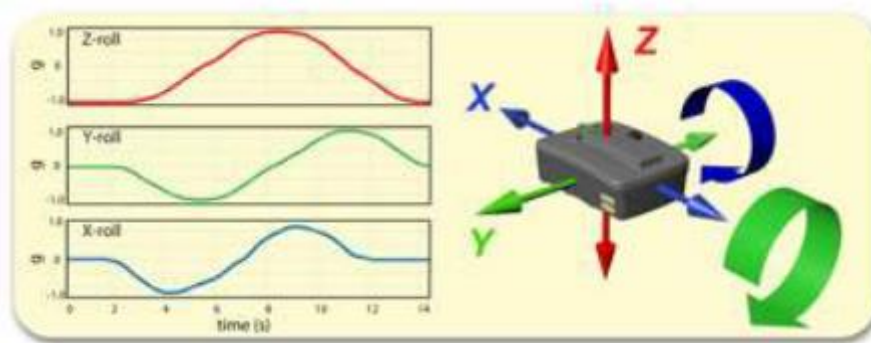


Ilustración 3 Imagen del acelerómetro triaxial Trigno™ Wireless System

Características del Acelerómetro Trigno™ Wireless System:

- Tecnología Parallel-Bar patentado garantiza señales de alta fidelidad.
- Incorpora Triaxial Acelerometría en cada sensor.
- 16 canales de EMG, 48 canales de acelerómetro.
- Seleccionables $\pm 1.5g$ o rango $\pm 6g$.
- 64 Ch. de salida analógica en tiempo real para la integración de captura de movimiento.
- Rendimiento garantizado a 40m.
- 37mm x 26mm x 15mm.
- 8 horas de funcionamiento en el modo de transmisión completa.

- Tiempo de recarga de 2 horas.
- Resolución de 16 bits, frecuencia de muestreo de 2000 Hz.
- Compatible con el software EMGWorks.
- Conexión USB a PC (portátil o de escritorio).
- <500us latencia entre el sensor.

Los acelerómetros vienen en un maletín que sirve de receptor de señal gracias a la antena que incorpora y como base de carga.

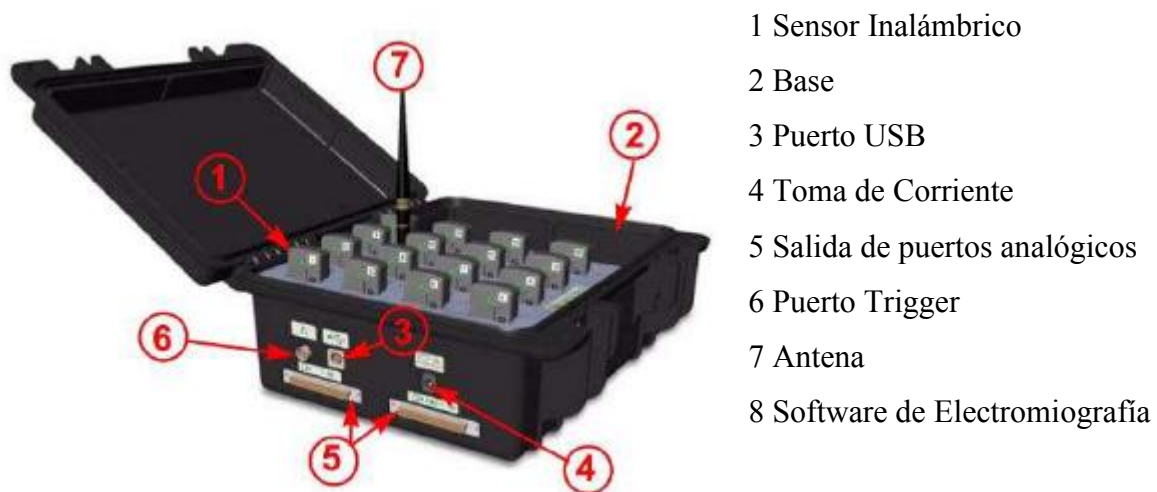


Ilustración 4 Maletín-cargador de los acelerómetros Trigno™ Wireless System

4.1.1. Sistema Vicon® de captura de movimiento.

El sistema Vicon es un instrumento de una alta fiabilidad en el estudio del movimiento. Mediante una serie de marcadores colocados en el sujeto de estudio en puntos clave, podemos capturar el movimiento gracias a varias cámaras situadas en el laboratorio que emiten una señal que es reflejada por los marcadores. De esta manera al recibir varias cámaras la señal reflejada, pueden crear un modelo de los segmentos corporales que realizan el movimiento, permitiéndonos conocer con gran exactitud la posición, velocidad, aceleración... del cuerpo independientemente del movimiento que realice. La complejidad del modelo dependerá de la cantidad de marcadores que pongamos, al poner más marcadores formaremos un modelo mucho más completo y con más segmentos corporales.



Ilustración 5 Cámara del sistema de captura de movimiento Vicon®

4.2. Protocolo experimental.

4.2.1. Colocación de los marcadores

Como primer paso colocaremos los marcadores que nos servirán para componer el modelo del sujeto de estudio. Primero marcaremos con un lápiz los lugares donde se colocarán los marcadores y luego los pondremos. Los marcadores los situaremos en los siguientes lugares:

- Cabeza anterior derecha
- Cabeza anterior izquierda
- Cabeza posterior izquierda
- Cabeza posterior derecha
- Vértebra C7.
- Vértebra D10
- Esternón parte proximal.
- Esternón parte dista.
- Hombro izquierdo.
- Hombro derecho.
- Codo izquierdo.
- Codo derecho.
- Muñeca izquierda cara externa.

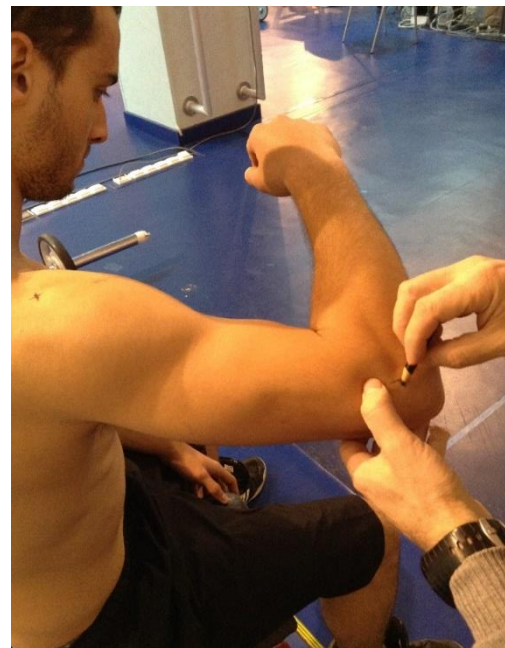


Ilustración 6 Marcaje de los puntos donde se situarán los marcadores

- Muñeca izquierda cara interna.
- Muñeca derecha cara externa.
- Muñeca derecha cara interna.
- Cresta iliaca anterosuperior derecha.
- Cresta iliaca anterosuperior izquierda.
- Sacro derecho.
- Sacro izquierdo.
- Trocánter mayor pierna izquierda.
- Trocánter mayor pierna derecha.
- Rodilla derecha cara interna.
- Rodilla derecha cara externa.
- Rodilla izquierda cara interna.
- Rodilla izquierda cara externa.
- Tibia izquierda cara externa
- Tibia derecha cara externa.
- Tobillo derecho maléolo interno.
- Tobillo derecho maléolo externo
- Tobillo izquierdo maléolo interno.
- Tobillo izquierdo maléolo externo.
- Pie derecho talón.
- Pie izquierdo talón.
- Pie derecho 3er metatarso.
- Pie izquierdo 3er metatarso.
- Extremo derecho de la barra olímpica.
- Extremo izquierdo de la barra olímpica.
- Cara externa de las mancuernas.

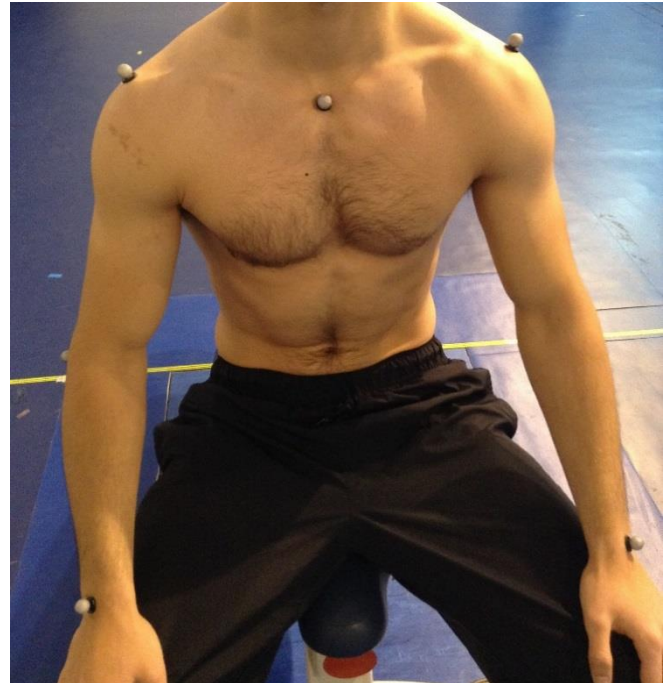


Ilustración 7 Marcadores colocados

Tras colocarlos los fijaremos con esparadrapo para evitar que se despeguen debido al movimiento y al sudor.



Ilustración 8 Fijación del acelerómetro y el marcador a la barra olímpica



Ilustración 9 Barra olímpica con el acelerómetro y el marcador puestos

4.1. Diseño experimental.

Se analizaron siete ejercicios de musculación realizados por cinco alumnos del INEF de Madrid sin un nivel profesional en el entrenamiento de fuerza (como podría ser el caso de powerlifters, halterófilos o culturistas). Ya que lo que nos interesa es el análisis del movimiento de los ejercicios de musculación, las características físicas de nuestros sujetos son irrelevantes para este estudio.

4.1.1.Elección de ejercicios.

Generalmente, los ejercicios de peso libre convencionales siguen un recorrido en uno o dos planos del espacio, pero lo normal es que se produzcan desequilibrios en la ejecución de los ejercicios debido a desbalances en la fuerza muscular, posible material defectuoso, técnica errónea... por lo que se acaban produciendo movimientos en los tres ejes del espacio, por lo que si queremos diseñar un dispositivo que mida con la mayor eficacia posibles los movimientos en ejercicios de musculación será necesario tener en cuenta los tres planos del espacio. Para ello hemos escogido siete de los ejercicios más utilizados de entrenamiento con pesas que pueden llegar a recorrer esos tres planos y en base al material que tenemos disponible para realizarlos:

	Ejercicio	Grupo muscular	Parte del cuerpo	Postura
1	Curl de bíceps	Bíceps	Tren superior	De pie
2	Peso muerto	Dorsal - isquiotibiales	Tren superior e inferior	
3	Remo con barra	Dorsal	Tren superior	
4	Sentadilla	Cuádriceps e isquiotibiales	Tren inferior	
5	Press de hombro	Deltoides	Tren superior	Tumbado
6	Press de banca	Pectoral		Tumbado
7	Press francés	Tríceps		Tumbado

Table 1Ejercicios a realizar en la prueba

Biceps: Curl de bíceps alterno con supinación

De pie con una mancuerna cogida en semipronación. Inspirar y flexionar el codo efectuando una rotación externa de la muñeca antes que los brazos alcancen la horizontal. Al expirar, extendemos el codo controlando el movimiento y volviendo a la posición inicial a la vez que flexionamos el otro codo de manera que las mancuernas se crucen en la horizontal.

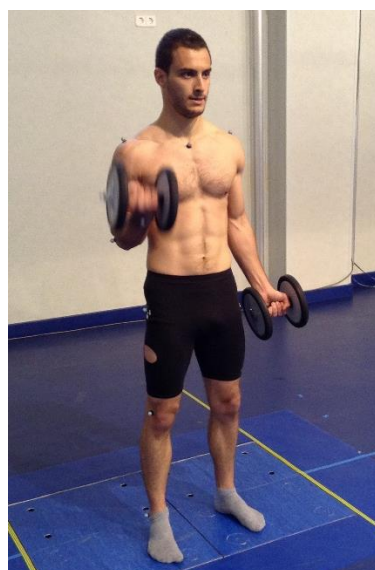


Ilustración 10Curl de bíceps alterno con supinación

Espalda: Peso muerto

De pie, cara a la barra, piernas separadas y pies mirando hacia el exterior, siempre en el eje de las rodillas. Manteniendo la espalda recta en todo el ejercicio, comenzamos flexionando la barra hasta llevar los muslos a la horizontal. Cogemos la barra con los brazos estirados, manos justo por fuera de las caderas agarrando la barra en pronación. Al inspirar nos incorporamos extendiendo las piernas y levantando el tronco mientras sujetamos la barra. Al expirar volvemos a la posición inicial controlando el movimiento.



Ilustración 11Peso muerto

Espalda: Remo horizontal con barra

De pie con las rodillas ligeramente flexionadas, tronco inclinado 45°, espalda recta y abdomen contraído para proteger la zona lumbar, manos separadas a una distancia mayor a la anchura de los hombros y agarrando en supinación¹. Al inspirar tiramos de la barra hacia el abdomen. Al expirar, bajamos la barra a la posición inicial controlando el movimiento.

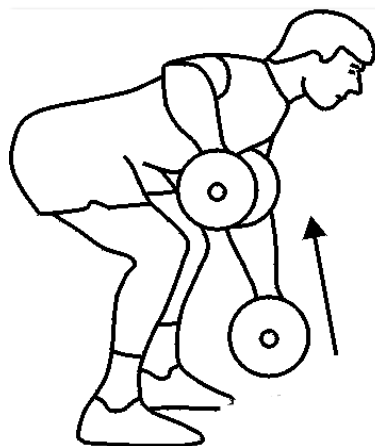


Ilustración 12 Remo horizontal con barra

Muslo: Sentadilla

Barra colocada sobre los trapecios, coger la barra con las manos. Inspirar a la vez que flexionamos la cadera y inclinamos el tronco hacia delante, controlando la bajada y sin curvar la espalda. Una vez los muslos alcancen la horizontal, expiramos a la vez que realizamos una extensión de piernas, enderezando el tronco volviendo a la posición de partida.

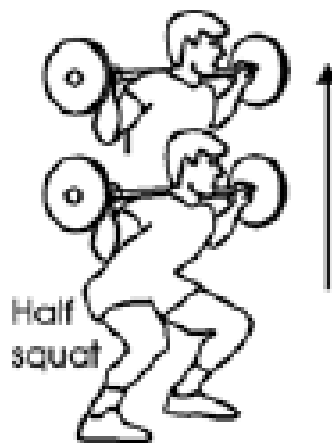


Ilustración 13 Sentadilla

Deltoides: Press militar

De pie, espalda bien recta, barra cogida en pronación y apoyada sobre la parte alta del pecho. Al inspirar empujamos la barra hacia arriba y al expirar volvemos a la posición inicial controlando el movimiento.

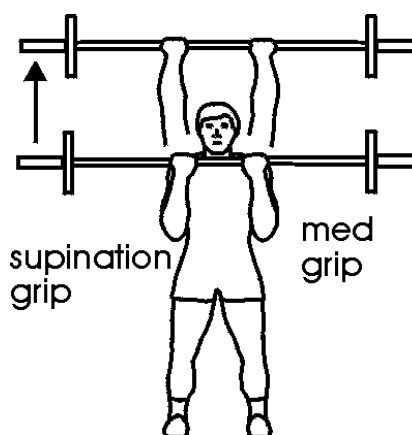


Ilustración 14 Press Militar

¹ Generalmente se hace con las manos en pronación pero con las manos en supinación permita llevar los codos más atrás y darle más trabajo a los músculos del omoplato.

Pectoral: Press de banca

Ejecución:

Acostado sobre un banco plano cogemos la barra con las manos en pronación y separadas una longitud mayor a la anchura de los hombros. Al inspirar bajamos la barra hasta el pecho controlando el movimiento. Al expirar empujamos la barra hacia arriba volviendo a la posición inicial



Ilustración 15 Press de banca

Triceps: press francés con barra EZ

Estirado en un banco plano, la barra cogida en pronación, codos estirados y brazos verticales al suelo. Al inspirar flexionamos los codos controlando el movimiento de manera que la barra se aproxime a nuestra cabeza o la sobrepase (los brazos deben de seguir verticales). Al expirar hacemos fuerza con los codos volviendo a la posición inicial.



Ilustración 16 Press francés con barra EZ

La toma de datos se realizará en el Laboratorio de Biomecánica del INEF de Madrid y el material de musculación ha sido cedido por el gimnasio de musculación también del INEF de Madrid. El material de entrenamiento que utilizaremos será el siguiente:

Material	Unidades
Barra olímpica (20kg)	1
Barra EZ (7kg)	1
Discos de 15kg	2
Discos de 10kg	2
Discos de 5kg	2
Mancuernas de 10kg	2
Seguros para los discos	2
Banco plano	1

Tabla 1 Material a utilizar

Llevaremos a cabo la toma de datos como si de una sesión de entrenamiento de musculación se tratara. Por ello primero realizaremos un calentamiento para reducir los riesgos de lesión del sujeto a la hora de realizar los ejercicios.

El calentamiento consistirá en ejercicio cardiovascular durante 7-8 minutos, seguido de un calentamiento específico del core mediante 3 ejercicios de abdomen (crunch de abdomen, crunch oblicuo e hiperextensiones de tronco tumbado en el suelo. 10 repeticiones a un ritmo lento) y ejercicios de movilidad articular y estiramientos generales.

4.2. Protocolo.

Se creó un protocolo para ponerlo a prueba en una sesión de simulacro de cara a perfeccionarlo para las sesiones de toma de datos, de manera que resultase fluido y sin pérdidas de tiempo más allá de las necesarias en cambiar los materiales y los instrumentos.

La toma de datos se desarrolló simultáneamente por los dos sistemas: Acelerómetro Trigno™ Wireless System y Vicon® Motion Systems.

Protocolo		
<u>Tarea</u>	<u>Tiempo</u>	<u>Descripción</u>
Pedir material del gimnasio	2 días antes	Pedir acceso al gimnasio del INEF para poder coger material el día de la prueba
Preparar material	30'	Preparación del material necesario: implementos del entrenamiento de fuerza, Vicon, acelerómetros y marcadores.
Preparación de los sujetos	15'	Firma del consentimiento informado y colocación de la vestimenta y marcadores que harán falta para la prueba.
Calentamiento	10'	Ejercicios para preparar al sujeto para la prueba.
Toma de datos	40'	Ejecución de los diferentes ejercicios programados.

Tabla 2 Protocolo para desarrollar la prueba

4.2.1. Protocolo de calentamiento.

Desarrollamos un calentamiento para preparar la musculatura del sujeto de cara al desarrollo de la sesión, disminuyendo así el riesgo de lesiones (2). Consistirá en 5 minutos de carrera continua en el interior del laboratorio a la vez que realiza ejercicios de movilidad articular como calentamiento general. Después se realizará un calentamiento más específico para el entrenamiento de fuerza en el que se realizarán ejercicios de core para calentar y proteger el abdomen y los ejercicios de la prueba pero únicamente con el peso de la barra (2,4).

4.3. Procesamiento de datos.

Una vez tenemos los archivos con los ejercicios, pasaremos a usar la aplicación de Workstation para crear los labelings de las muestras. Al abrirlo encontramos el ejercicio con la silueta del sujeto formada solo por puntos que corresponden a los marcadores.

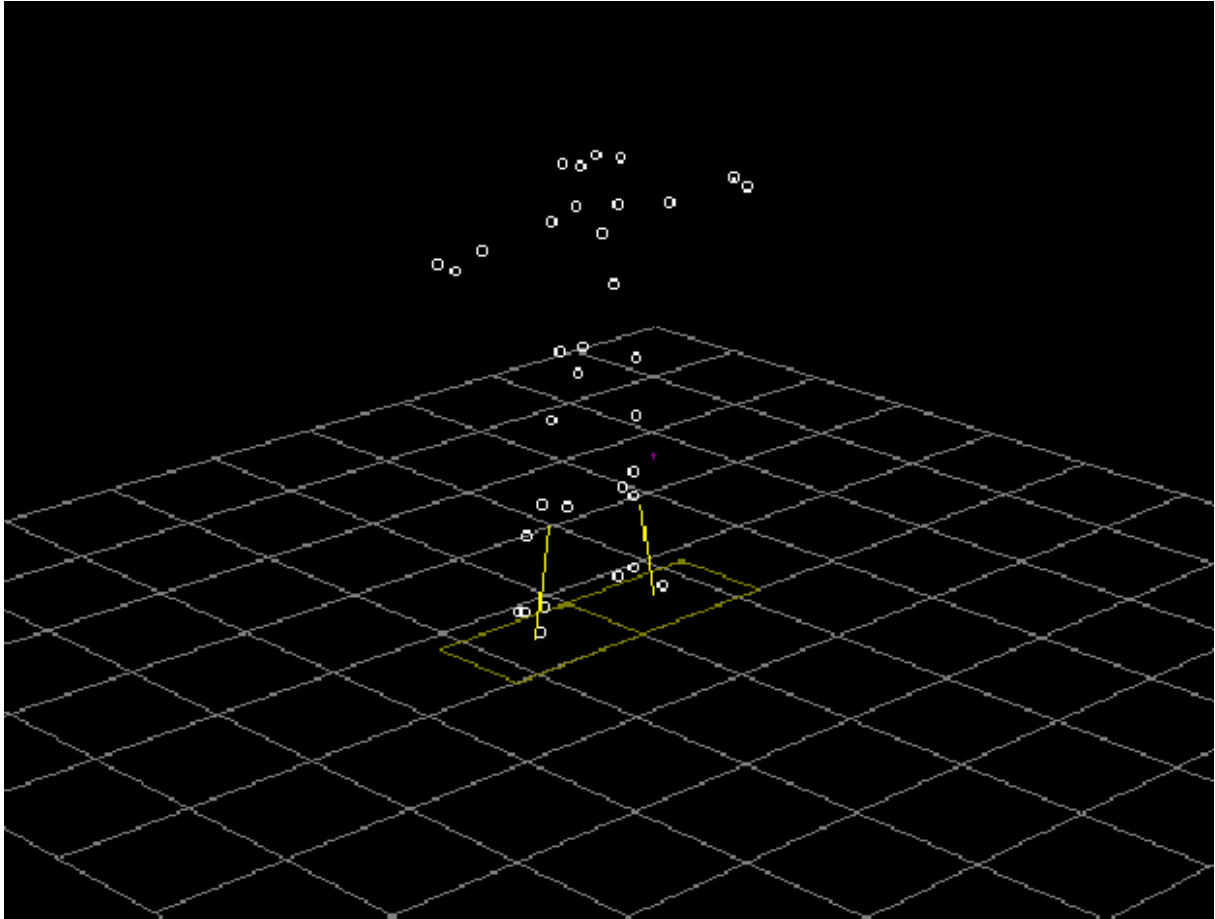


Ilustración 17 Figura del sujeto en el programa Workstation solo con los marcadores

El trabajo a realizar será atribuirle a cada marcador un nombre de acuerdo a la posición que ocupan en el cuerpo. De esta manera los marcadores se unirán mediante líneas creando un modelo del sujeto con segmentos corporales, lo que nos permitirá analizar mejor el movimiento.

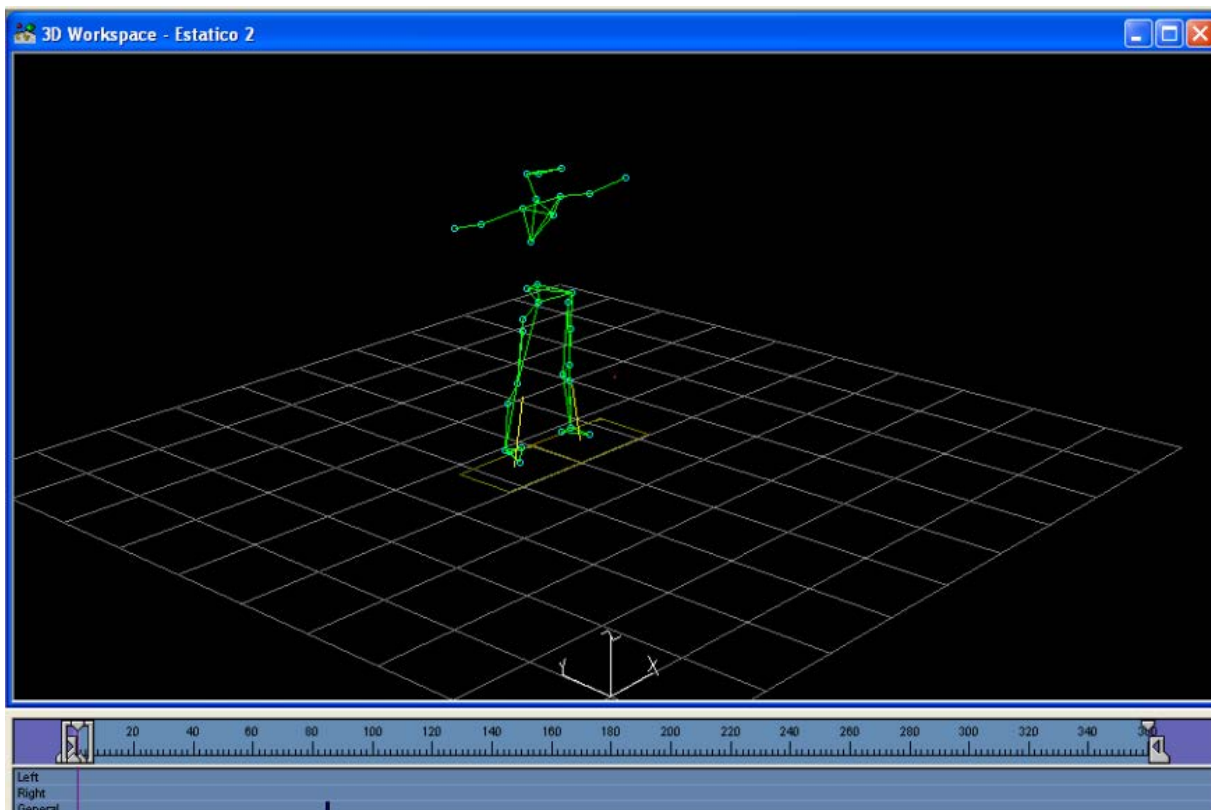


Ilustración 18 Figura del sujeto en Workstation una vez hecho el labeling

Tras terminar los labelings creamos un report de cada ejercicio para analizarlos en el programa Polygon, de aquí obtendremos gráficas sobre los diferentes componentes del movimiento (velocidad, posición, aceleración...) de los marcadores que queramos, que en nuestro caso serán de las barras y las mancuernas.

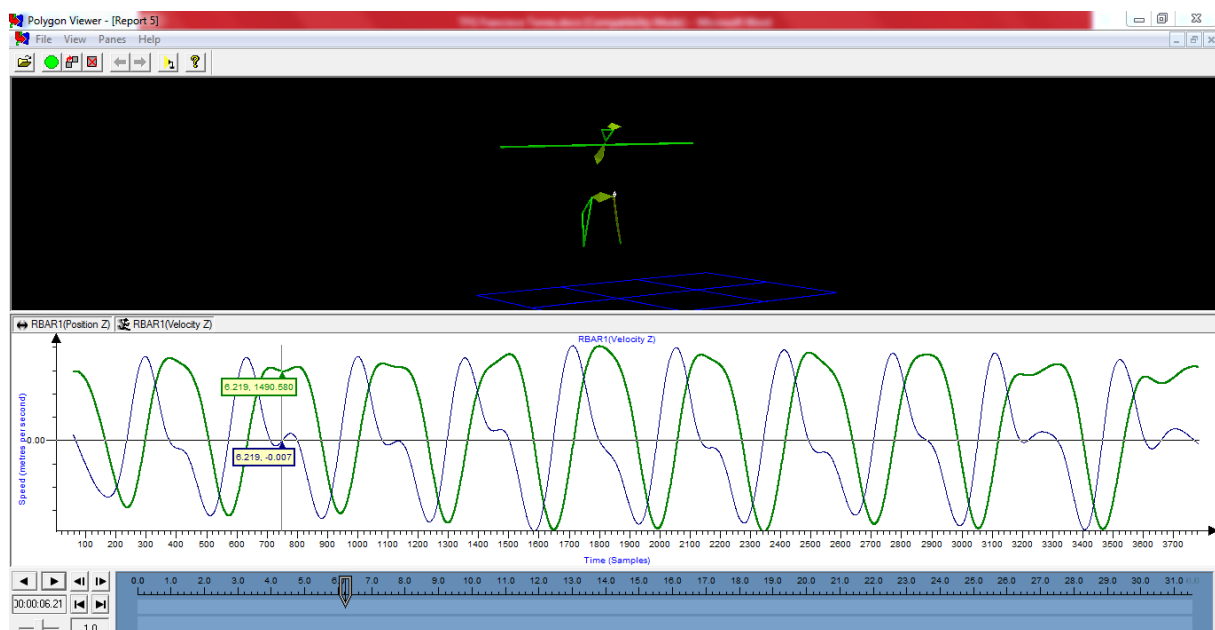


Ilustración 19 Análisis del movimiento en Polygon Viewer

De aquí no tendremos más que exportar los datos a una hoja de Excel para obtener los datos numéricos de los componentes del movimiento, tanto del acelerómetro como de los marcadores situados en los implementos de entrenamiento y compararlos.

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V		
2	1	Sentadilla																						
3	2	Date:	09/04/2016																					
4	3	Time:	9:28:01																					
5	4	Type:	General Capture																					
6	5	Description:																						
7	6	Notes:																						
8	7																							
9	8	TRAJECTORIES																						
10	9	120 Hz																						
11	10	LASI																						
12	11	Field #	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y		
13	12	77	104.64275	226.236	976.8743	-158.8356	227.1509	980.9442	-227.4491	281.2182	820.3955	-13.985518	115.89954	1224.1605	212.54515	293.4008	720.1682	-13.83323	97.01079	1400.0292	293.5846	420.6819	1314.1554	-289.54756
14	13	78	104.541763	226.6551	976.667	-159.5087	227.8153	981.09	-227.5598	281.5329	820.604	-13.094647	115.45888	1224.1739	213.02475	293.129	719.9235	-13.58888	96.46647	1399.76	293.6237	420.1315	1313.8527	-289.6216
15	14	79	104.559685	227.7535	976.8583	-159.8833	228.2239	981.979	-228.2869	281.106	820.2221	-12.705555	115.07002	1223.9952	213.27513	293.2574	719.7817	-13.51219	96.20097	1399.4315	293.6211	419.7857	1313.8651	-290.07477
16	15	80	104.537521	228.1491	976.1779	-159.8632	228.3615	980.7478	-228.3982	281.7193	820.425	-12.295098	114.68944	1223.5889	213.49724	293.5894	719.7265	-13.85094	96.0501	1399.0608	293.5702	419.5371	1313.6243	-290.4418
17	16	81	104.197014	227.6232	975.4091	-159.4211	228.4636	979.605	-228.1713	282.832	820.4423	-11.575536	114.25904	1223.3394	214.00781	293.4631	719.4774	-13.88774	95.57057	1396.7637	293.9045	419.208	1313.0896	-290.5598
18	17	82	103.514488	227.2946	974.7368	-158.8675	229.3222	978.5404	-228.0592	282.2364	819.9736	-11.417809	114.0194	1223.2881	214.37904	293.314	719.1135	-13.6786	95.73977	1396.7365	294.2726	418.8886	1312.6271	-290.42318
19	18	83	102.849625	227.1175	974.0436	-158.6454	229.6002	977.7449	-227.8961	282.816	819.3553	-11.087851	113.89158	1222.8124	214.65918	293.4946	719.1714	-13.11338	95.31459	1399.2144	294.597	418.5109	1312.1058	-290.21765
20	19	84	102.674797	227.1038	973.447	-158.6801	230.6975	977.2449	-227.7499	283.6919	818.8756	-10.823535	113.75871	1221.4354	215.24593	293.3535	718.6242	-13.05682	95.19553	1396.9727	294.6776	418.0569	1310.9652	-290.1937
21	20	85	102.7425	227.6889	972.9646	-158.3346	231.622	977.0544	-227.5619	284.408	818.9825	-10.704033	113.68217	1220.8361	215.68541	294.4608	718.5674	-13.45515	95.17226	1397.7575	294.6051	417.5953	1309.7632	-290.19034
22	21	86	103.156425	228.7768	972.4722	-158.1976	233.7278	976.6405	-228.3994	284.8961	818.594	-11.23795	113.3037	1219.993	215.73915	294.727	718.9224	-13.64026	95.53129	1396.8009	294.5753	417.2842	1308.9771	-290.1567
23	22	87	103.092438	229.4554	971.2158	-155.7529	239.2448	975.4395	-228.7451	285.7705	818.8011	-11.88866	112.97661	1219.3209	215.96309	294.5077	718.3282	-13.64686	95.44176	1395.8784	294.5244	416.7372	1307.7106	-290.08046
24	23	88	102.683601	229.5002	970.1255	-158.6722	235.9309	974.884	-229.0289	287.0693	818.1891	-11.986224	112.8327	1218.7598	216.40747	294.124	717.629	-13.80037	94.84479	1394.944	294.6865	416.3393	1306.1694	-289.83066
25	24	89	102.242674	229.3642	969.0891	-159.7864	234.9562	974.1002	-229.2887	287.8337	817.3598	-11.887767	112.2042	1217.821	216.79983	294.0224	716.9523	-14.02097	94.17431	1393.9464	295.1512	416.1241	1305.3369	-289.8573
26	25	90	101.952905	228.5675	967.6825	-158.3774	236.9589	972.9124	-229.2785	288.4801	816.5378	-11.28624	111.7196	1216.4853	217.33361	294.0623	716.5585	-13.61031	94.30378	1393.0443	295.231	415.7895	1304.4551	-289.53705
27	26	91	101.94709	230.4048	965.9931	-154.8638	241.8594	972.1859	-229.3547	289.4296	815.8267	-10.81963	111.65366	1214.7546	218.14468	293.8332	715.9623	-12.86869	95.08886	1392.5095	294.9865	415.1304	1302.5233	-289.71274
28	27	92	102.499535	231.2225	964.4753	-162.6895	238.9021	970.1595	-229.9193	290.0269	815.2728	-11.210846	111.65388	1213.0604	218.99799	293.5709	715.3822	-12.84356	95.05811	1391.1477	294.9511	414.557	1300.2791	-289.89706
29	28	93	103.17195	231.3797	962.559	-173.7107	237.9467	967.4987	-230.4314	290.1629	814.5793	-11.32636	110.97954	1212.0022	219.72913	293.4962	715.0247	-13.30124	94.70747	1389.49	295.2568	414.279	1298.5015	-290.03787
30	29	94	100.288979	230.188	960.3334																			
31	30	95	101.84639	232.169	959.7438																			
32	31	96	101.337036	233.0299	958.5585																			
33	32	97	100.653823	233.7077	956.8624																			
34	33	98	100.676521	234.764	955.4994																			
35	34	99	100.745079	234.9315	953.23																			
36	35	100	99.344467	233.9133	949.0506																			
37	36	101	99.658989	235.4477	948.3463																			
38	37	102	99.415863	236.0707	946.3993																			

Ilustración 20 Datos del movimiento en sentadilla en excel

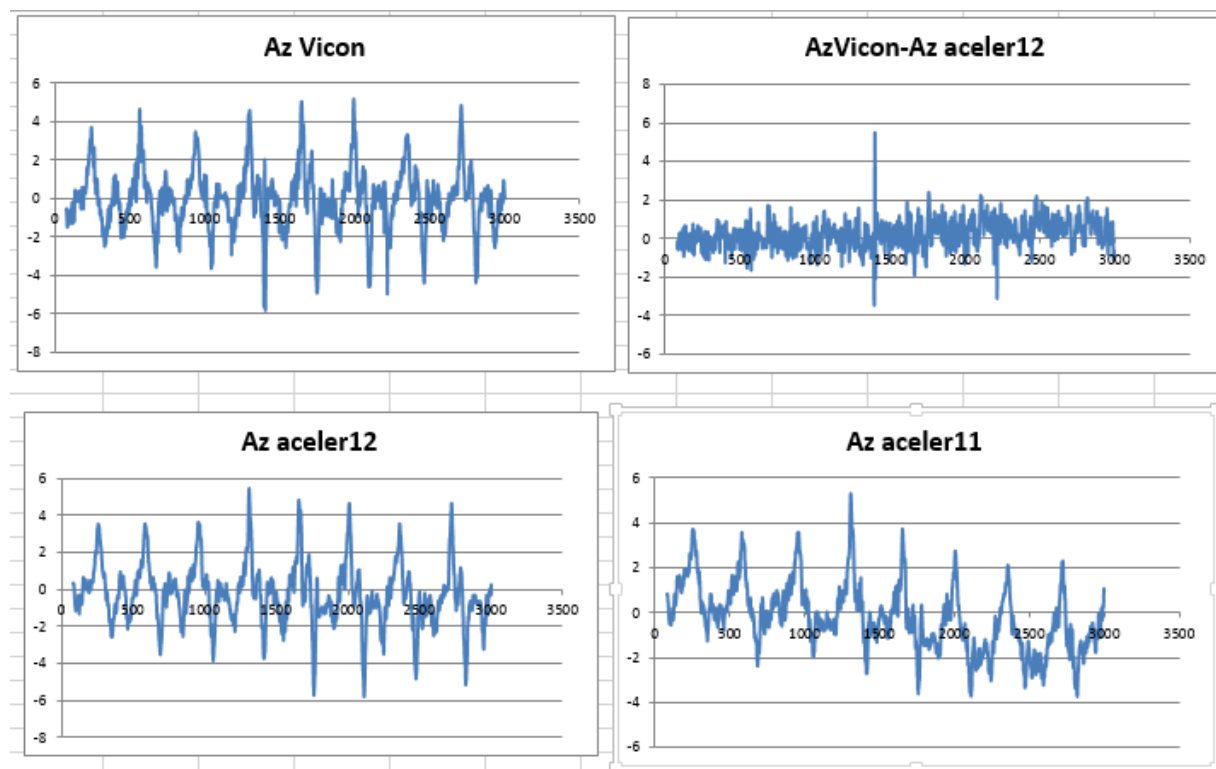


Ilustración 21 Gráficas representativas de los parámetros de movimiento en sentadilla

4.4. Calendario

	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Revisión	X				
Registro de datos		X	X		
Procesamiento de datos			X	X	
Tratamiento de datos y resultados				X	X
Estructura del documento.				X	X

Tabla 3 Calendario en el que se ha desarrollado el trabajo

5. Resultados y discusión.

Como podemos observar en las siguientes gráficas, los resultados obtenidos por ambos métodos, siendo el VICON el más efectivo a la hora de medir el movimiento, son muy similares, son altamente positivos, llegándose a obtener un margen de error de hasta -0.0105 y -0.15 en las muestras obtenidas de la sentadilla y press de banca respectivamente. Esto se cumple especialmente en ejercicios cuyo movimiento es muy lineal, ya que en ejercicios que siguen una trayectoria más curva los resultados varían debido a los giros que realiza el acelerómetro en el espacio. Hay que tener en cuenta que aunque sea un acelerómetro triaxial, estos están diseñados para estar en una posición bastante fija, sin llegar a producirse apenas giros en su eje, lo que puede trastocar la información. A pesar de este problema, es fácil de corregir si disponemos de los algoritmos adecuados para minimizar ese margen de error que se produce (14,22,29,37,39).

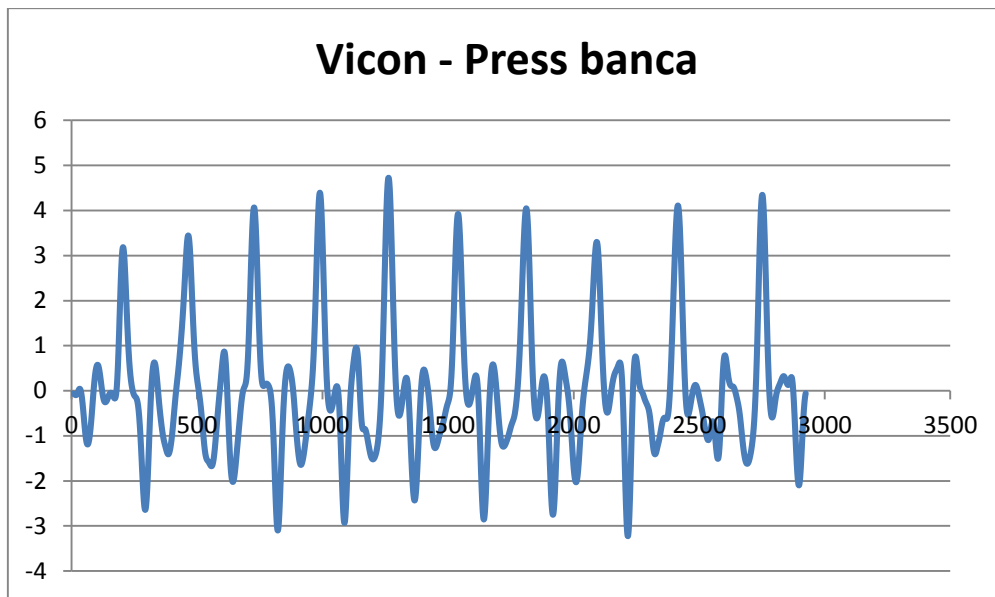


Figure 1 Aceleración del press de banca en Vicon

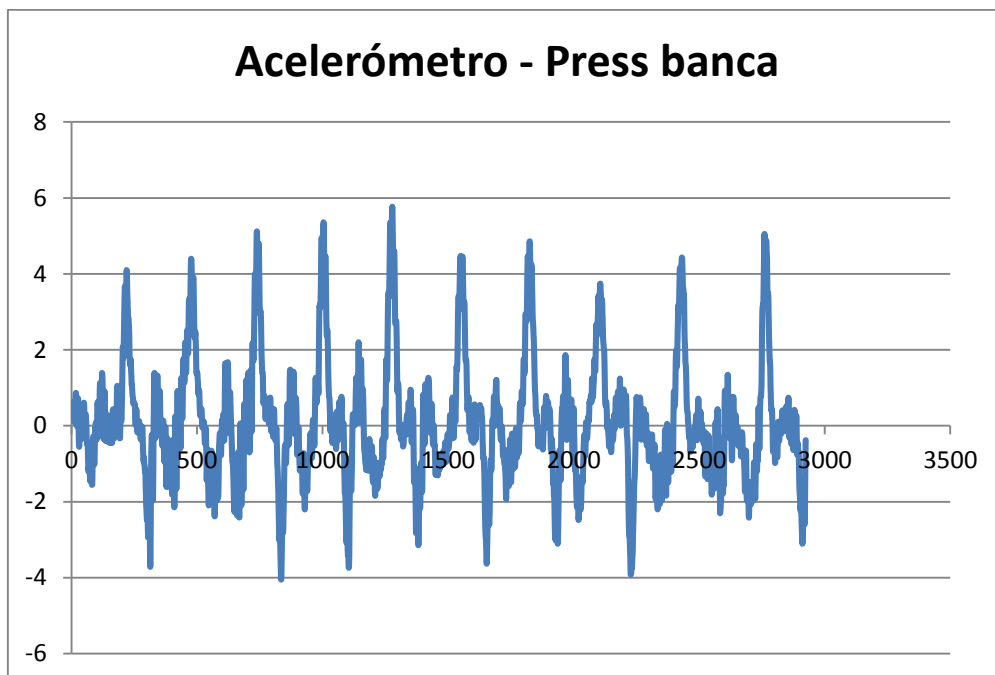


Figure 2 Aceleración del press de banca en acelerómetro

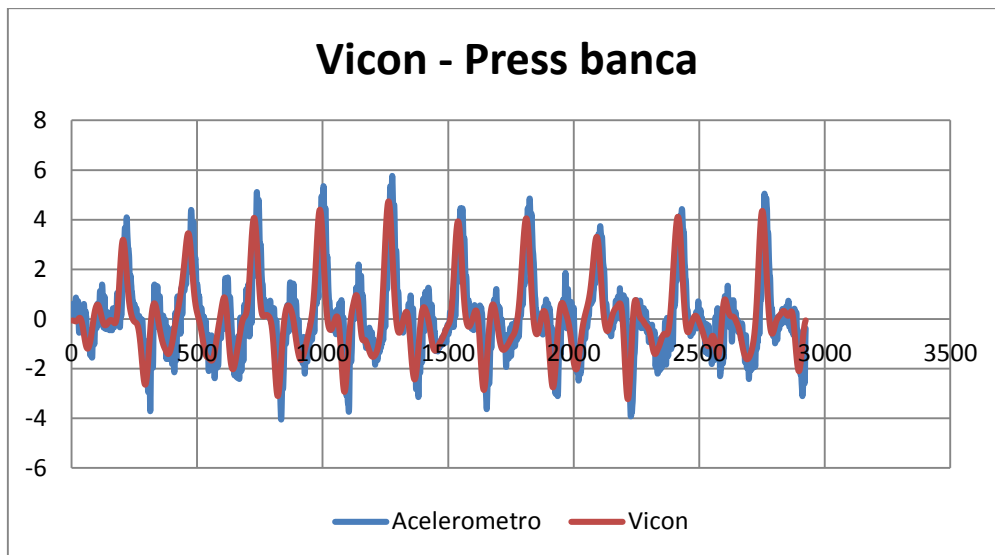


Figure 3 Comparación de aceleración del press de banca

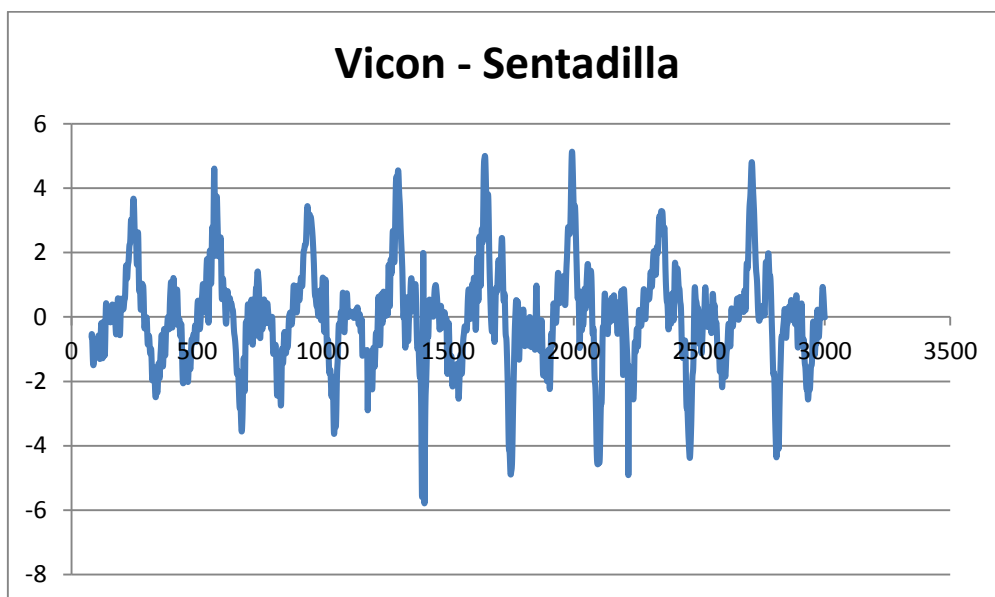


Figure 4 Aceleración de la sentadilla en Vicon

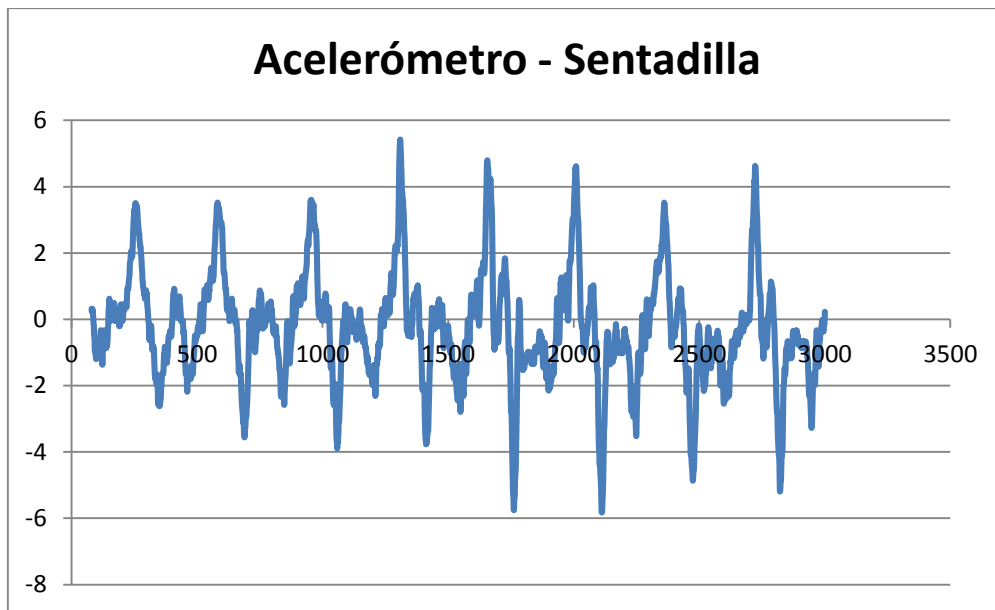


Figure 5 Aceleración de la sentadilla en Vicon

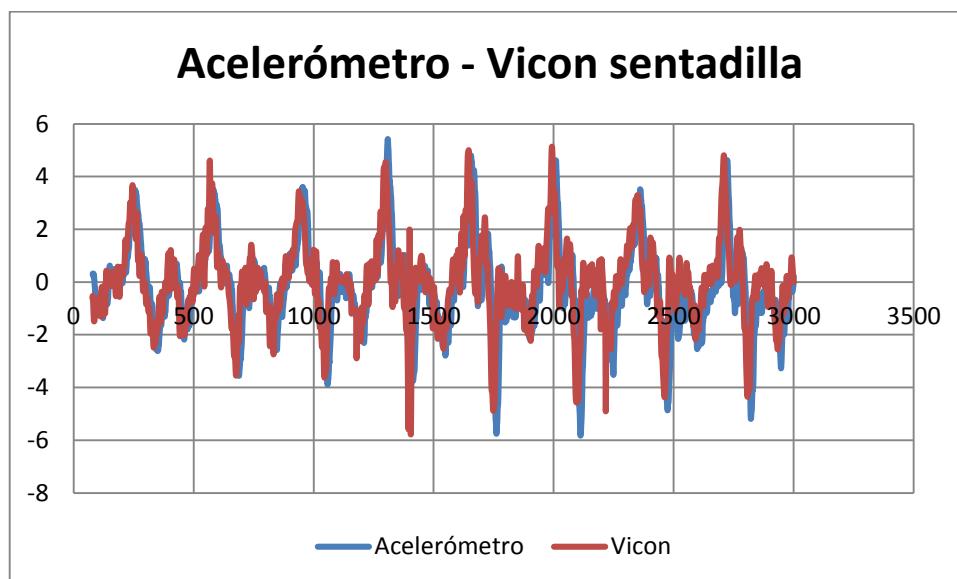


Figure 6 Comparación de aceleración de la sentadilla

Por otro lado, obtuvimos los datos de velocidad de movimiento y distancia recorrida en cada ejercicio y en cada sujeto::

	Curl de biceps				Peso muerto			
Sergio Sánchez	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,707	0,911	630,834	647,74	0,857	0,849	592,36	620,914
	0,772	0,601	617,815	546,133	0,809	0,905	547,332	611,723
	0,666	0,737	608,742	545,307	0,866	0,868	596,945	563,525
	0,78	0,726	612,7	584,426	0,912	0,908	560,414	616,643
	0,75	0,744	557,18	591,54	0,813	0,893	527,58	616,658
	0,75	0,605	582,42	509,29	0,823	0,8	571,43	578,35
	0,8	0,713	560,71	507,21	0,826	0,869	551,31	615,25
	0,67	0,708	584,9	478,14	0,717	0,889	523,78	628,47
	0,72	0,713	512,91	537,64	0,866	0,862	596,63	560,99
	0,84	0,777	498,83	503,15	0,838	0,783	569,786	541,858
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,7345		560,88085		0,84765		579,5974	
David Sánchez	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,816	0,936	637,441	690,679	0,751	0,747	748,096	726,055
	0,691	0,863	573,197	589,587	0,819	0,832	648,744	706,09
	0,699	0,849	581,593	577,238	0,89	0,72	709,138	621,787
	0,74	0,906	623,72	645,474	0,83	0,64	666,19	579,27
	0,68	0,929	591,75	635,251	0,75	0,72	624,32	580,26
	0,77	0,864	636,59	674,095	0,83	0,67	656,05	548,41
	0,65	0,925	608,52	612,969	0,73	0,62	607,3	556,28
	0,75	0,939	652,38	655,775	0,82	0,66	645,12	540,24
	0,78	0,9	688,73	647,306	0,77	0,64	636,62	537,01
	0,65	0,77	653,092	657,824	0,82	0,71	661,728	562,231
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,80535		631,66055		0,74845		628,04695	
Vicente Moreno	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,895	1	706,245	683,456	1,305	1,173	813,029	771,993
	0,909	0,85	721,422	601,3	1,279	1,066	827,491	713,72
	0,842	0,881	713,709	615,362	1,31	1,15	778,342	728,04
	0,784	0,808	714,86	676,175	1,26	1,13	756,708	719,29
	0,696	0,77	703,58	667,94	1,22	1,09	769,082	760,87
	0,645	0,78	715,02	680,3	1,1	1,12	736,201	772,99
	0,547	0,73	690,44	667,44	1,11	1,15	718,878	778,38
	0,531	0,76	697,32	687,67	1,16	1,14	731,647	780,68
	0,35	0,7	701,36	677,57	1,04	1,03	677,32	694,45
	0,346	0,68	689,72	706,72	1,14	1,08	713,129	704,28
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,7252		685,88045		1,15265		747,326	

Tabla 4 Comparativa de velocidades y espacios recorridos en curl de biceps y peso muerto 1

	Curl de biceps				Peso muerto			
	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
Alberto Pastor	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,855	0,967	690,097	674,4016	0,87	0,929	735,112	751,8
	0,956	0,863	652,987	606,9365	0,764	0,851	533,576	589,136
	0,979	0,933	655,55	649,6007	0,756	0,849	521,872	583,138
	0,87	0,908	640,896	640,8834	0,7	0,876	483,544	567,505
	0,84	0,86	655,95	619,483	0,71	0,858	511,814	606,501
	0,88	0,85	644,88	614,492	0,75	0,852	503,951	542,734
	0,91	0,83	685,54	643,609	0,75	0,812	511,999	573,967
	0,88	0,86	678	614,167	0,69	0,71	510,067	543,454
	0,86	0,84	693,76	619,103	0,68	0,699	501,152	513,423
	0,88	0,88	670,22	655,956	0,833	0,783	578,284	575,234
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,88505		650,32561		0,7861		561,91315	
Francisco Torres	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,761	0,903	615,171	623,081	0,858	0,3832	705,681	723,028
	0,842	0,771	628,246	600,348	0,735	0,648	574,971	506,595
	0,821	0,863	605,554	604,072	0,711	0,621	547,631	487,282
	0,888	0,883	626,689	620,61	0,75	0,68	540,71	513,66
	0,935	0,91	656,59	647,26	0,68	0,6	528,97	467,51
	0,899	0,954	654,24	656,88	0,73	0,66	573,51	522,3
	0,869	0,9	669,36	652,66	0,75	0,68	574,9	517,24
	0,907	0,892	667,25	674,58	0,56	0,56	523,64	523,38
	0,719	0,806	667,51	653,06	0,6	0,55	494,98	465,51
	0,771	0,77	685,016	647,6	0,56	0,54	477,183	452,144
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,8532		642,78885		0,64281		536,04125	

Tabla 5 Comparativa de velocidades y espacios recorridos en curl de biceps y peso muerto 2

	Remo horizontal				Press militar			
Sergio Sánchez	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,755	0	306,742	356,166	0,933	0,867	603,851	612,258
	0,8	0,827	373,838	317,891	0,808	0,878	566,616	566,771
	0,596	0,749	230,395	230,23	0,776	0,725	569,173	592,626
	0,78	0,599	73,834	361,214	0,732	0,733	575,54	561,986
	0,893	0,799	385,45	326,302	0,7	0,708	536,64	598,71
	0,774	0,803	342,63	325,882	0,66	0,69	538,32	592,5
	0,688	0,76	266,06	325,702	0,63	0,67	536,36	603,1
	0,827	0,714	357,19	199,887	0,51	0,55	527,88	614,52
	0,798	0,715	341,15	288,331	0,46	0,467	0	0
	0,773	0,784	297,62	310,601	0,66	0,761	0	0
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,7217		300,85575		0,6959		459,84255	
David Sánchez	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,47	0,388	309,745	266,012	0,933	0,867	685,008	640,791
	0,421	0,422	267,85	266,353	0,808	0,878	563,301	561,911
	0,372	0,478	222,754	315,939	0,776	0,725	558,229	560,123
	0,356	0,497	233,012	324,306	0,732	0,733	543,851	531,896
	0,5	0,4	348,91	296,482	0,7	0,708	526,719	498,439
	0,45	0,38	304,14	285,884	0,66	0,69	549,17	544,653
	0,48	0,34	321,78	255,142	0,63	0,67	1125,96	560,039
	0,51	0,36	357,05	257,074	0,51	0,55	477,88	507,499
	0,44	0,33	326,68	239,896	0,46	0,467	485,01	482,846
	0,53	0,34	405,466	268,59	0,66	0,761	514,662	595,637
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,4232		293,65325		0,6959		575,6812	
Vicente Moreno	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,692	0,72	428,885	462,627	0,829	0,856	570,436	569,58
	0,736	0,831	374,304	508,898	0,844	0,941	586,748	585,807
	0,428	0,753	229,841	493,289	0,824	0,968	547,434	546,466
	0,509	0,662	264,584	429,828	0,874	0,941	575,631	574,69
	0,59	0,76	312,67	471,32	0,9	0,887	633,03	632,143
	0,61	0,78	319,4	454,84	0,89	0,894	620,44	619,546
	0,69	0,76	368,38	434,88	0,91	0,85	644,95	644,1
	0,54	0,74	326,29	471,22	0,91	0,892	639,11	638,218
	0,31	0,68	296,93	493,85	0,88	0,822	655,02	654,198
	0,47	0,72	300,161	483,432	0,519	0,477	608,525	608,048
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,64905		396,28145		0,8454		607,706	

Tabla 6 Comparativa de velocidades y espacios recorridos en remo horizontal y press militar 1

	Remo horizontal				Press militar			
	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
Alberto Pastor	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,293	0,433	189,407	281,692	1,323	1,532	670,269	666,845
	0,281	0,477	166,056	293,766	1,385	1,427	626,332	650,728
	0,384	0,416	223,642	242,615	1,397	1,514	637,447	681,935
	0,381	0,471	235,522	302,641	1,45	1,369	736,908	632,997
	0,373	0,499	244,506	314,387	1,319	1,34	675,51	679,608
	0,342	0,553	219,55	344,75	1,412	1,39	669,09	641,295
	0,377	0,512	247,08	318,77	1,523	1,34	751,14	649,139
	0,409	0,49	264,27	310,97	1,33	1,48	657,73	713,321
	0,448	0,376	302,18	235,37	1,235	1,53	621,93	744,226
	0,406	0,42	288,53	280,58	1,303	1,46	685,857	746,915
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,41705		265,3142		1,40295		676,9611	
Francisco Torres	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,478	0,441	251,265	245,489	0,588	0,734	654,228	593,411
	0,483	0,445	277,131	259,34	0,696	0,77	588,93	597,031
	0,432	0,505	238,665	300,783	0,603	0,685	571,011	614,315
	0,442	0,446	267,603	273,272	0,616	0,735	541,4	614,732
	0,407	0,5	219,612	288,056	0,608	0,745	575,97	639,362
	0,431	0,519	222,82	292,13	0,545	0,767	569,21	627,787
	0,43	0,482	246,63	299,56	0,532	0,67	546,79	606,751
	0,437	0,437	256,59	280,21	0,587	0,721	633,95	612,566
	0,371	0,387	255,76	266,36	1,153	1,259	793,62	844,581
	0,346	0,392	260,84	292,39	1,074	1,338	537,386	737,04
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,44055		264,7253		0,7713		625,00355	

Tabla 7 Comparativa de velocidades y espacios recorridos en remo horizontal y press militar 2

	Sentadilla				Press de banca				Press francés			
Sergio Sánchez	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,668	0,722	494,244	127,676	0,428	0,54	280,761	324,82	0,365	0,357	302,405	326,653
	0,759	0,715	549,109	487,165	0,424	0,596	274,632	349,335	0,376	0,369	330,395	379,325
	0,797	0,721	568,524	489,777	0,461	0,606	292,983	353,518	0,442	0,4	365,142	355,243
	0,886	0,71	610,316	601,458	0,478	0,578	297,66	335,922	0,33	0,357	281	359,414
	0,831	0,815	556,444	599,912	0,471	0,579	299,62	361,86	0,35	0,304	327,22	311,213
	0,775	0,798	562,626	567,874	0,472	0,548	299,53	343,25	0,37	0,33	331,69	349,596
	0,716	0,778	588,152	585,7	0,441	0,568	285,82	367,79	0,43	0,362	368,96	324,85
	0,884	0,748	614,808	633,228	0,416	0,494	291,52	387,79	0,37	0,4	319,82	321,367
	0,833	0,752	612,612	537,572	0,325	0,536	248,6	413,12	0,37	0,321	372,74	379,127
	0,815	0,694	633,589	531,9	0,336	0,4	292,22	371,82	0,26	0,271	416,88	418,054
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
David Sánchez	0,77085		547,6343		0,48485		323,62855		0,3567		347,0547	
	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,798	0,903	431,369	489,034	0,531	0,601	363,266	426,929	0,428	3,89	320,341	344,174
	0,712	0,874	363,546	515,745	0,618	0,663	384,05	405,32	0,423	0,434	339,922	352,737
	0,843	0,891	445,01	479,401	0,971	0,647	402,353	382,15	0,484	0,381	368,458	328,795
	0,824	0,839	424,7	461,24	0,699	0,773	389,835	432,556	0,39	0,44	293,536	346,674
	0,941	0,691	503,08	399,784	0,611	0,71	363,969	411,719	0,48	0,38	369,65	311,605
	0,803	0,87	427,41	517,13	0,626	0,67	372,928	386,263	0,42	0,41	316,059	345,947
	0,787	0,928	417,56	555,968	0,446	0,63	312,002	450,234	0,48	0,36	393,527	309,388
	0,813	0,9	451,08	529,51	0,508	0,58	343,538	425,51	0,43	0,36	331,628	312,067
	0,604	0,615	547,854	572,786	0,5	0,47	395,888	391,416	0,42	0,32	378,882	351,38
			0	0	0,287	0,32	341,936	412,912	0,27	0,21	380,094	355,11
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
Vicente Moreno	0,813111111		426,610265		0,59305		389,7387		0,5705		342,4987	
	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,91	0,959	531,747	609,5	0,638	0,74	468,19	535,847	0,4	0,55	466,434	580,487
	0,985	1,021	603,494	624,576	0,742	0,613	524,474	424,081	0,376	0,527	443,036	539,748
	0,914	1,089	558,416	691,474	0,711	0,638	469,135	436,935	0,37	0,498	396,328	513,471
	0,997	1,05	639,005	643,614	0,716	0,72	484,485	458,878	0,388	0,535	403,904	509,465
	0,842	0,93	599,776	644,916	0,615	0,68	456,87	451,63	0,369	0,484	392,607	500,415
	0,957	0,89	673,582	577,475	0,667	0,61	474,77	418,476	0,397	0,445	397,874	491,144
	0,942	0,9	646,839	624,345	0,653	0,66	430,41	461,909	0,33	0,475	383,706	517,662
	0,816	0,95	635,584	681,783	0,595	0,62	440,95	448,606	0,292	0,331	385,669	484,125
	0,791	0,86	619,101	663,102	0,52	0,49	463,3	411,038	0,301	0,44	394,901	523,051
	0,697	0,69	660,231	669,895	0,342	0,27	482,58	386,825	0,388	0,509	440,618	553,643
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,9095		629,92275		0,612		456,469465		0,42025		465,9144	

Tabla 8 Comparativa de velocidades y espacios recorridos en sentadilla, press de banca y press francés 1

	Remo horizontal				Press militar				Press francés			
Alberto Pastor	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,693	0,8	504,862	574,104	0,597	0,507	470,133	406,668	0,53	0,667	341,479	448,738
	0,782	0,647	547,482	485,182	0,619	0,607	437,638	405,953	0,611	0,634	388,505	453,749
	0,757	0,712	503,444	536,222	0,767	0,546	473,582	413,249	0,696	0,669	422,435	469,561
	0,7	0,8	466,364	587,134	0,719	0,7	428,148	455,534	0,728	0,687	424,12	475,023
	0,72	0,77	488,829	557,194	0,73	0,68	442,331	442,21	0,66	0,74	376,323	477,67
	0,75	0,77	491,82	561,09	0,704	0,68	410,162	451,31	0,77	0,664	427,611	462,6
	0,77	0,77	516,012	577,005	0,691	0,7	448,725	440,42	0,72	0,698	421,071	452,99
	0,71	0,73	499,726	544,157	0,464	0,714	323,695	492,88	0,58	0,481	419,602	428,56
	0,71	0,74	514,944	573,236	0,377	0,596	429,724	457,682	0,5	0,562	442,463	468,51
	0,68	0,876	594,131	679,276	0,392	0,56	382,258	469,529	0,57	0,592	420,056	508,06
Francisco Torres	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,74435		540,1107		0,6175		434,09155		0,63795		436,456275	
	Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)		Velocidad max (m/s)		Espacio recorrido (mm)	
	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der	izq	der
	0,64	0,637	496,587	490,348	0,561	0,68	296,869	374,671	0,631	0,516	452,035	386,561
	0,628	0,667	482,345	493,724	0,537	0,705	301,022	372,38	0,645	0,502	483,934	371,63
	0,631	0,646	474,121	469,424	0,598	0,702	319,005	367,844	0,71	0,539	474,543	384,906
	0,678	0,712	502,14	517,37	0,645	0,69	341,152	335,021	0,65	0,615	422,894	397,13
	0,687	0,695	562,876	530,53	0,621	0,75	327,033	365,209	0,67	0,592	428,659	420,95
	0,661	0,757	484,95	546,637	0,639	0,7	345,801	340,187	0,67	0,57	446,357	381,21
	0,713	0,724	528,56	487,46	0,626	0,77	352,426	380,748	0,69	0,571	444,792	375,72
	0,731	0,742	549,474	526,042	0,44	0,48	356,584	316,344	0,72	0,576	453,818	384,83
	0,744	0,732	588,335	540,085	0,422	0,41	353,742	286,869	0,8	0,601	500,483	387,62
	0,77	0,848	569,241	588,01	0,316	0,2	367,971	340,907	0,432	0,47	403,787	406,377
	Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media		Velocidad media		Distancia media	
	0,70215		521,41295		0,5746		342,08925		0,6085		420,4118	

Tabla 9 Comparativa de velocidades y espacios recorridos en sentadilla, press de banca y press francés 2

6. Conclusiones.

Con estos resultados en mano podemos concluir que los acelerómetros si son válidos para la medición y cuantificación del entrenamiento de fuerza. Aunque en estas pruebas hemos podido obtener algunos resultados negativos, son debidos a problemas situacionales y fácilmente corregibles de disponer de los medios adecuados.

El siguiente paso requeriría crear los algoritmos adecuados para corregir los fallos de medición que se puedan producir en ejercicios concretos y posteriormente, buscar la relación velocidad – porcentaje de 1RM de cada ejercicio para llevar a cabo una manera de proporcionar feedback al usuario para que sepa si tiene que modificar su entrenamiento.

Una vez llegado a este punto, el último paso consistiría en encontrar la manera de implementarlo e introducirlo en el mundo de la actividad física como herramienta de entrenamiento, siendo las posibilidades para hacerlo muy variadas.

Bibliografía

- (1) Baechle TR, Earle RW. Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico. : Ed. Médica Panamericana; 2007.
- (2) Benito Peinado PJ. Conceptos básicos del entrenamiento con cargas: de la musculación al wellness. Colombia ed.: Kinesis; 2008.
- (3) Benito PJ, Neiva C, Gonzalez-Quijano PS, Cupeiro R, Morencos E, Peinado AB. Validation of the SenseWear armband in circuit resistance training with different loads. Eur J Appl Physiol 2012 Aug;112(8):3155-3159.
- (4) Bompa TO, Cornacchia LJ. Musculación. Entrenamiento avanzado. : Editorial Hispano Europea; 2002.
- (5) Bonomi AG, Goris A, Yin B, Westerterp KR. Detection of type, duration, and intensity of physical activity using an accelerometer. Med Sci Sports Exerc 2009;41(9):1770-1777.
- (6) Biomechanics of front and back squat exercises. Journal of Physics: Conference Series: IOP Publishing; 2007.
- (7) Carlos Balsalobre-Fernández PJ. Entrenamiento de Fuerza: Nuevas Perspectivas Metodológicas. ; 2014.
- (8) Caruso JF, Olson NM, Taylor ST, McLagan JR, Shepherd CM, Borgsmiller JA, et al. Front squat data reproducibility collected with a triple-axis accelerometer. J Strength Cond Res 2012 Jan;26(1):40-46.
- (9) Chang K, Chen M, Canny J. Tracking Free-Weight Exercises. In: Krumm J, Abowd G, Seneviratne A, Strang T, editors. : Springer Berlin Heidelberg; 2007. p. 19-37.
- (10) Chen KY, Bassett DR. The technology of accelerometry-based activity monitors: current and future. Med Sci Sports Exerc 2005;37(11):S490.
- (11) Comstock BA, Solomon-Hill G, Flanagan SD, Earp JE, Luk HY, Dobbins KA, et al. Validity of the Myotest(R) in measuring force and power production in the squat and bench press. J Strength Cond Res 2011 Aug;25(8):2293-2297.
- (12) Delavier F, Gundill M. Musculación. El método Delavier. : Editorial HISPANO EUROPEA; 2012.
- (13) Drinkwater EJ, Galna B, McKenna MJ, Hunt PH, Pyne DB. Validation of an optical encoder during free weight resistance movements and analysis of bench press sticking point power during fatigue. Journal of Strength and Conditioning Research 2007;21(2):510.
- (14) Gomez-Piriz PT, Sanchez ET, Manrique DC, Gonzalez EP. Reliability and comparability of the accelerometer and the linear position measuring device in resistance training. J Strength Cond Res 2013 Jun;27(6):1664-1670.

- (15) González-Badillo J, Gorostiaga Ayestarán E. Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo. : Inde; 2002.
- (16) González-Badillo J, Ribas Serna J. Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. : Inde; 2002.
- (17) González-Badillo J, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 2010;31:347-352.
- (18) González-Badillo J, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 2010;31:347-352.
- (19) Gullett JC, Tillman MD, Gutierrez GM, Chow JW. A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals. *J Strength Cond Res* 2009 Jan;23(1):284-292.
- (20) Haff GG, Lehmkuhl MJ, McCoy LB, Stone MH. Carbohydrate supplementation and resistance training. *J Strength Cond Res* 2003 Feb;17(1):187-196.
- (21) Izquierdo M, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Hakkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, et al. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* (1985) 2006 May;100(5):1647-1656.
- (22) Karantonis DM, Narayanan MR, Mathie M, Lovell NH, Celler BG. Implementation of a real-time human movement classifier using a triaxial accelerometer for ambulatory monitoring. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on* 2006;10(1):156-167.
- (23) Koshida S, Iwai K, Kagimori A, Urabe Y. Contribution of maximal strength to peak power and rate of power development in bench press movement using free weights. 2008;1(1).
- (24) Kraemer W, Häkkinen K. Strenght training for sport. Oxford ed.: Blackwell Science; 2002.
- (25) Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002 Feb;34(2):364-380.
- (26) Kraemer WJ, Adams K, Cafarelli E, Dudley GA, Dooly C, Feigenbaum MS, et al. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 2002 Feb;34(2):364-380.
- (27) Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36(4):674-688.
- (28) Kuehl K, Elliot DL, Goldberg L. Predicting caloric expenditure during multi-station resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 1990;4(3):63-67.

- (29) Li N, Hou Y, Huang Z. Implementation of a Real-Time Human Activity Classifier Using a Triaxial Accelerometer and Smartphone. *International Journal of Advancements in Computing Technology* 2013;5(4):234-242.
- (30) Navarro F. *La resistencia*. : Gymnos; 1998.
- (31) Pernek I, Hummel K, Kokol P. Exercise repetition detection for resistance training based on smartphones. *Personal and Ubiquitous Computing* 2013 04/01;17(4):771-782.
- (32) Pober DM, Staudenmayer J, Raphael C, Freedson PS. Development of novel techniques to classify physical activity mode using accelerometers. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38(9):1626.
- (33) Pollock ML, Gaesser GA, Butcher JD, Després J, Dishman RK, Franklin BA, et al. ACSM position stand: the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30(6):975-991.
- (34) Rawson ES, Walsh TM. Estimation of resistance exercise energy expenditure using accelerometry. *Med Sci Sports Exerc* 2010 Mar;42(3):622-628.
- (35) Rontu JP, Hannula MI, Leskinen S, Linnamo V, Salmi JA. One-repetition maximum bench press performance estimated with a new accelerometer method. *J Strength Cond Res* 2010 Aug;24(8):2018-2025.
- (36) Santos-Lozano A, Garatachea N. *Tendencias actuales de la acelerometría para la cuantificación de la actividad física*. 2012.
- (37) Sato K, Smith SL, Sands WA. Validation of an accelerometer for measuring sport performance. *J Strength Cond Res* 2009 Jan;23(1):341-347.
- (38) Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res* 2010 Oct;24(10):2857-2872.
- (39) Stec MJ, Rawson ES. Estimation of resistance exercise energy expenditure using triaxial accelerometry. *Journal of strength and conditioning research* 2012 -05-01;26(5):1413-1422.

Anexos

Protocolo.

Material fungible

ITEM	UNIDADES
Malla corta	1
Marcadores	
Cinta de doble cara	1
Tijeras	1
Esparadrapo	1
Lapiz con punta	1
Sacapuntas	1
Algodón	1
Botella alcohol	1
Banco reclinable	1
Barra olímpica	1
Barra Z	1
Mancuernas de 20kg	2
Mancuernas de 16kg	2
Mancuernas de 10kg	2
Disco de 10kg	2
Disco de 15kg	2
Disco de 20kg	2
Seguros para la barra	2
Planchas de gomaespuma para el suelo.	2
Acelerómetros	2

Registro de datos.

Encendido del Ordenador del Vicon
Encendido del Ordenador de la Plataforma y arrancar Bioware
Arrancar programa WorkStation

Encender CPU WorkStation
Comprobación Set Up Vicon
Comprobación Set Up Plataforma
Calibración de la plataforma
Calibración Vicon
Configuración Vicon
Configuración nombres en Eclipse de los distintos sujetos
Encendido de los acelerómetros.
Calibración de los acelerómetros.
Configuración de los acelerómetros.
Prueba de peso
Prueba Captura
Copiar ficheros *.mod en fondo carpeta principal
Copiar fichero *.mkr en carpetas de cada palo del sujeto

Preparación del material fungible.

Preparación de marcadores sobre cinta de doble cara
Mallas cortas
Calcetines cortos por debajo de los maléolos
Esparadrapo
Lapiz
Alcohol y algodón
Montaje de las barras con discos y acelerómetros.
Colocación del banco.

Preparación del sujeto y recorrido

Colocación de la vestimenta
Pesar y medir al sujeto
Comprobar el brillo de las zapatillas.
Limpieza con alcohol de las zonas con marcadores
Marcaje de los puntos para los marcadores
Colocación de los marcadores (cinta de doble cara y fijar con esparadrapo).

Recuento de los marcadores.

Registro de datos.

Captura estático-pesaje.

Calentamiento

Explicación de la prueba.

Captura de los trials dinámicos:

- **Curl de bíceps alterno:**
 - **Intensidad: 12RM**
 - **Repeticiones: 10 reps.**
 - **Descanso: 2 min.**
- **Peso muerto.**
 - **Intensidad: 12RM**
 - **Repeticiones: 10 reps.**
 - **Descanso: 2 min.**
- **Remo con barra**
 - **Intensidad: 12RM**
 - **Repeticiones: 10 reps.**
 - **Descanso: 2 min.**
- **Press militar.**
 - **Intensidad: 12RM**
 - **Repeticiones: 10 reps.**
 - **Descanso: 2 min.**
- **Sentadilla.**
 - **Intensidad: 12RM**
 - **Repeticiones: 10 reps.**
 - **Descanso: 2 min.**
- **Press de banca.**
 - **Intensidad: 12RM**
 - **Repeticiones: 10 reps.**
 - **Descanso: 2 min.**
- **Press francés**
 - **Intensidad: 12RM**

- **Repeticiones: 10 reps.**
- **Descanso: 2 min.**

Copia de seguridad



CONSENTIMIENTO INFORMADO

De acuerdo con las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki por la Asociación Médica Mundial para la investigación en seres humanos, yo D/D^a o en su representación D/Dñahe sido informado/a de las características de las pruebas que se van a realizar sobre mi persona en el Laboratorio de Biomecánica Deportiva de la Universidad Politécnica de Madrid. Así mismo autorizo a que los miembros del Grupo de Investigación de Análisis Biomecánico de la Universidad Politécnica de Madrid puedan utilizar los datos con una finalidad exclusivamente *científica* en tanto se respeten la confidencialidad y el anonimato de los datos efectuándose un procedimiento de disociación, de forma que no puedan ser expuestos en relación con mi persona.

En Madrid a

Firma Interesado: